



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior (Jaén)

Trabajo Fin de Máster

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE ACEITUNAS

Alumno/a: Gómez Gallego, Daniel

Tutor: Diego Manuel Martínez Gila

Co-Tutor: Pablo Cano Marchal

Dpto.: Departamento de Ingeniería Electrónica y
Automática

Septiembre, 2018



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

Don Diego Manuel Martínez Gila, tutor del Trabajo Fín de Máster titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE ACEITUNAS, que presenta Daniel Gómez Gallego, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Septiembre de 2018

El alumno:

Los tutores:

Daniel Gómez Gallego

Diego Manuel Martínez Gila
Pablo Cano Marchal

RESUMEN

Este proyecto se basa en la parte de implementación de un software destinado a realizar las tareas necesarias para la sincronización de una máquina real clasificadora de aceitunas. En la provincia de Jaén, que es donde se ha desarrollado este proyecto, la utilización de ésta máquina dará mucho beneficio a la industria del aceite de la oliva debido a que la provincia jiennense abarca la mayor producción de este alimento en el mundo. La clasificación de este fruto se realizará mediante visión por computador. El software implementado tomará toda la información de esa visión por computador y gracias a un PLC se realizará la clasificación de aceitunas mediante actuadores neumáticos. El objetivo principal de la máquina es realizar una clasificación idónea para obtener diferentes calidades de aceite.

INDICE

1	Introducción	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	7
1.3	Contexto	8
1.4	Antecedentes	10
2	Metodología	14
2.1	Máquina Clasificadora de Aceitunas	15
2.1.1	Dimensiones de la máquina	15
2.1.2	Sensores y actuadores	16
2.1.3	Componentes de la maquina	19
2.1.4	Funcionamiento de la máquina	27
2.1.5	Tecnología de automatización Beckhoff.....	28
2.2	Herramientas software	30
2.2.1	NetBeans	30
2.2.2	Lenguaje de programación java	31
2.2.3	Programación basada en agentes.....	32
2.2.4	Machine Learning	33
2.3	Visión por computador	34
2.4	Agentes desarrollados	35
2.4.1	Inicio (Main)	35
2.4.2	Agente ABeckhoff	36
2.4.3	Agente ACarril.....	37
2.4.4	Agente AInterfaz	39
2.4.5	Agente AInductivo	40
2.4.6	Agente AVision	42
2.4.7	Agente AProcess	43
2.5	Solución adoptada	44
2.5.1	Primera fase	44

2.5.2	Segunda fase.....	44
2.5.3	Tercera fase.....	44
2.5.4	Fase final	45
3	Resultados	46
3.1	Preparación de la prueba	46
3.1.1	Calibration.....	46
3.1.2	Learning.....	47
3.1.3	Classifying	50
3.2	Pruebas realizadas	54
3.2.1	Prueba con aceitunas azules	54
3.2.2	Prueba con aceitunas verdes.....	55
3.2.3	Prueba con aceitunas moradas.....	55
3.2.4	Prueba con aceitunas de diferente color	55
4	Conclusiones y trabajos futuros	58
4.1	Conclusiones	58
4.2	Trabajos futuros	58
	Bibliografía	60

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.1. Regiones de mercado de oliva	2
Figura 1.2. Distribución empresas agroalimentarias	2
Figura 1.3. Proceso de recogida de aceituna.....	4
Figura 1.4. Flujograma de procesamiento	5
Figura 1.5. Máquina clasificadora.....	8
Figura 1.6. Zona de trabajo	9
Figura 1.7. Máquina seleccionadora manual	11
Figura 1.8. V20 EVO2	12
Figura 1.9. V10.....	12
Figura 1.10. V20.....	13
Figura 2.1. Estructura de la máquina.....	14
Figura 2.2. Perfil de la máquina.....	15
Figura 2.3. Vista superior de la máquina	16
Figura 2.4. Lateral de la máquina	16
Figura 2.5. Sensor inductivo vista lateral	17
Figura 2.6. Sensor inductivo vista interior	17
Figura 2.7. Actuador neumático.....	18
Figura 2.8. Entrada y salida del actuador	19
Figura 2.9. Partes de la máquina.....	19
Figura 2.10. Campana de Visión por Computador.....	20
Figura 2.11. Cámara Genie Nano 2420	21
Figura 2.12. Flash de la cámara	21
Figura 2.13. Vibradora.....	22
Figura 2.14. Cuadro de mando modo manual.....	22
Figura 2.15. Cuadro de mando modo automático	23
Figura 2.16. Visión inferior de la máquina.....	23
Figura 2.17. Final de la cadena	24
Figura 2.18. CPU y colocación	24
Figura 2.19. Cuadro eléctrico	25
Figura 2.20. Compresor de pistón	26
Figura 2.21. Cinta.....	26
Figura 2.22. PLC	27
Figura 2.23. Tarjeta EtherCAT EK1100	28
Figura 2.24. Icono NetBeans	30
Figura 2.25. Icono Java	31

Figura 2.26. Iconos Machine Learning y weka.....	33
Figura 2.27. Ejemplo imagen RGB	34
Figura 2.28. Flujograma general del programa	35
Figura 2.29. Flujograma agente ABeckhoff.....	36
Figura 2.30. Flujograma agente ACarril.....	37
Figura 2.31. Vector de 10 posiciones	38
Figura 2.32. Vector de 11 posiciones	38
Figura 2.33. Accionamiento de válvulas	38
Figura 2.34. Eliminación de la primera posición.....	39
Figura 2.35. Flujograma agente AInterfaz.....	39
Figura 2.36. Interfaz Gráfica	40
Figura 2.37. Flujograma agente AInductivo	41
Figura 2.38. Flujograma agente AVision.....	42
Figura 2.39. Flujograma agente AProcess.....	43
Figura 3.1. Interfaz Calibration	46
Figura 3.2. Interfaz Calibration 2.....	47
Figura 3.3. Interfaz learning.....	48
Figura 3.4. Interfaz learning2.....	49
Figura 3.5. Entrenamiento modelo.....	50
Figura 3.6. Interfaz Classifying	51
Figura 3.7. Sin presencia de aceituna	52
Figura 3.8. Detección de aceituna verde, azul y morada	53
Figura 3.9. Salida de la aceituna	54
Figura 3.10. Prueba con aceitunas de diferente color.....	56
Figura 3.11. Secuencia de video clasificación de aceitunas	56

1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se expone la motivación y los objetivos del presente proyecto. Se añade también una visión del contexto que rodea al proyecto y del panorama actual de los sistemas de clasificación en el mercado, así como sus antecedentes.

1.1 Motivación

El olivo es una planta muy antigua, su cultivo ha ido incrementando con el pasar de los años, se estima que superen los 15 millones de hectáreas, repartidas por diversas regiones del mundo.

En el mundo, España acapara la mayor superficie olivar, ha pasado a ser líder mundial en producción, comercialización y exportación de aceite de oliva. En una extensión mayor a los 2,5 millones de hectáreas, se encuentran casi 300 millones de olivos, siendo éstos los que le proporcionan al país un excepcional patrimonio económico y un enorme valor social, medioambiental, cultural y de salud pública.

Anualmente, una media de 1.200.000 toneladas de aceite de oliva se comercializa en España, que son más de la mitad de la producción de la Unión Europea (UE) y el 40% de la producción mundial. Este comercio se reparte al 50% entre el mercado nacional y el exterior, aunque en los últimos años ha habido una tendencia al crecimiento de las exportaciones.

Al apostar por la calidad del Aceite de Oliva Español, muchas de las marcas comerciales nacionales están entre las mejores del mundo y las más reconocidas. En la Figura 1.1 se muestran las 26 Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) de aceite de oliva virgen y virgen extra que existen actualmente en España y que cuidan la calidad de sus aceites y marcan pautas de cultivo, de recogida, de elaboración, de embotellado y de etiquetado.

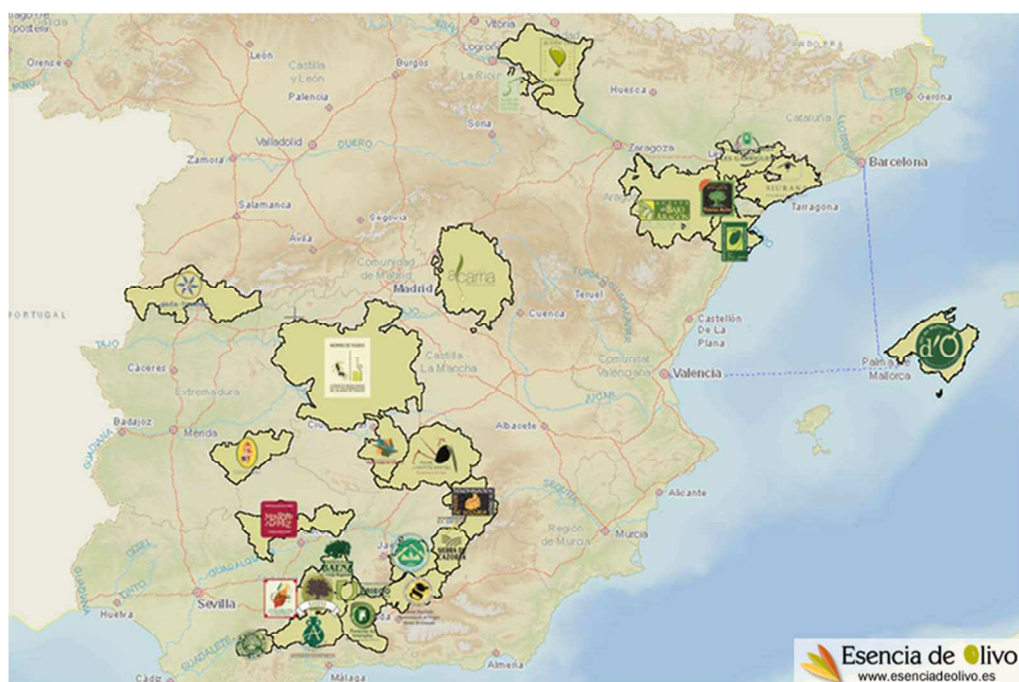


Figura 1.1. Regiones de mercado de oliva

La industria oleícola en España ocupa el 5% de las empresas agroalimentarias, los tipos de industria y su distribución se muestran en la Figura 1.2.

Comunidades Autónomas	Almazaras	Envasadoras	Orujeras	Refinerías	Entamadoras / Envasadoras	Laboratorios
Andalucía	818	669	39	15	242	349
Aragón	103	108	1	1	37	16
Baleares	9	19			3	88
Castilla La Mancha	252	240	9	3	10	1
Castilla y León	19	19			9	55
Cataluña	197	221	6	4	28	39
Extremadura	119	115	7		104	9
Galicia	3	4				
Madrid	20	25			17	13
Murcia	40	42			16	3
Navarra	17	18	1	1	4	3
Pais Vasco	4	5			2	1
La Rioja	22	25			2	32
C. Valenciana	133	133			13	8
TOTAL	1756	1643	63	24	487	617

Fuente: Agencia de Información y Control Alimentarios del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente del Gobierno de España (Datos actualizados a Mayo de 2014)

Figura 1.2. Distribución empresas agroalimentarias

2.584.564 has de olivar están repartidas en 34 provincias españolas. El 96% de estas has corresponden a variedades de aceituna para almazara y el 4%

restante a variedades para mesa. El número total de olivos en España es de 282.696.000. La distribución geográfica de extensión de cultivo y de número de olivos por comunidades autónomas se muestra en la siguiente tabla 1:

Comunidades Autónomas	Número de Olivos	Hectareas	%
Andalucía	174.788.000	1.515.320	60,38
Extremadura	29.602.000	255.310	10,17
Castilla-La Mancha	36.263.000	397.173	15,83
Cataluña	14.307.000	116.112	4,63
Comunidad Valenciana	10.963.000	91.701	3,65
Aragón	5.889.000	57.346	2,28
Resto	10.884.000	76.715	3,06
TOTAL	282.696.000	2.509.677	100

Tabla 1. Distribución geográfica

Jaén es la mayor región productora de aceite de oliva en España y del mundo (generando el 50% total nacional de aceites de oliva y más del 20% de la producción mundial), llega a producir por sí sola más aceite que el segundo país productor mundial, Italia.

La provincia jienense se autoproclama como “Capital Mundial del Aceite de Oliva”, por ser el lugar con la mayor concentración de olivos y producción oleícola. La variedad que más abunda en la provincia de Jaén es la Picual, aunque también se cultivan variedades Royal, Arbequina y Cornicabra.

Cuenta en la actualidad con tres denominaciones de origen protegidas (D.O.P.) de Aceite de Oliva: Sierra de Segura, Sierra de Cazorla y Sierra Magina.

Desde una perspectiva interna, el 78% de la superficie agrícola de la provincia se destina al cultivo del olivar, que es mayoritariamente de aceituna para almazara.

La consideración de sector estratégico del olivar y del aceite de oliva es incuestionable y no sólo por su aportación a la riqueza y al empleo provincial, sino también por las repercusiones sociales, ambientales y culturales.

Este proyecto tiene una gran importancia en la provincia en la que se desarrolla debido a la gran oferta y demanda de la aceituna, para la cual está desarrollada la máquina.



Figura 1.3. Proceso de recogida de aceituna

En la Figura 1.3 se visualiza el proceso llevado a cabo de la aceituna desde la recogida en el campo hasta el envasado para después comercializar la aceituna.

Como se puede observar este proceso comienza con la recogida del olivar que se puede hacer por ordeño (de forma manual), vareo (golpeando el olivo con una vara flexible) necesitando expertos olivareros que sepan cómo varear sin maltratar el árbol o por vibración mecánica.

El paso siguiente es su transporte hasta la Almazara o al Molino donde se extraerá el Aceite.

En la Almazara, con la aceituna se llevan a cabo los procesos de limpieza y de lavado, que son cruciales para eliminar la suciedad y preparar la fruta para la extracción de aceite. En el primer paso, un flujo de aire elimina los cuerpos extraños más ligeros que las aceitunas principalmente hojas y pequeñas ramas; en el segundo, un lavado arrastra los desechos más pesados (piedras, pedazos de tierra y barro).

Una vez limpias se procede a una primera clasificación de aceitunas descartando aquellas demasiado pequeñas o que han sufrido en el transporte, en la cual ya se podría utilizar la máquina que se va a estudiar en éste proyecto. Éstas

aceitunas seleccionadas se depositan en barriles donde son cubiertas con salmuera natural. Pasado un tiempo prudencial se procede al envasado, pero previamente se vuelve a realizar una nueva supervisión de tamaños y calidad de la aceituna. En este punto es donde sería más eficaz la máquina, ya que podríamos seleccionar la aceituna por el tipo de color para poder saber la calidad de ésta.

Para obtener el aceite de oliva de alta calidad, es necesaria una correcta clasificación de lotes de aceitunas que llegan al molino. Esta operación de clasificación normalmente se hace manualmente y algunas veces se producen errores que ocasionan que la categoría asignada al lote no sea la adecuada. En la Figura 1.4 se puede observar el flujograma de procesamiento de la aceituna.

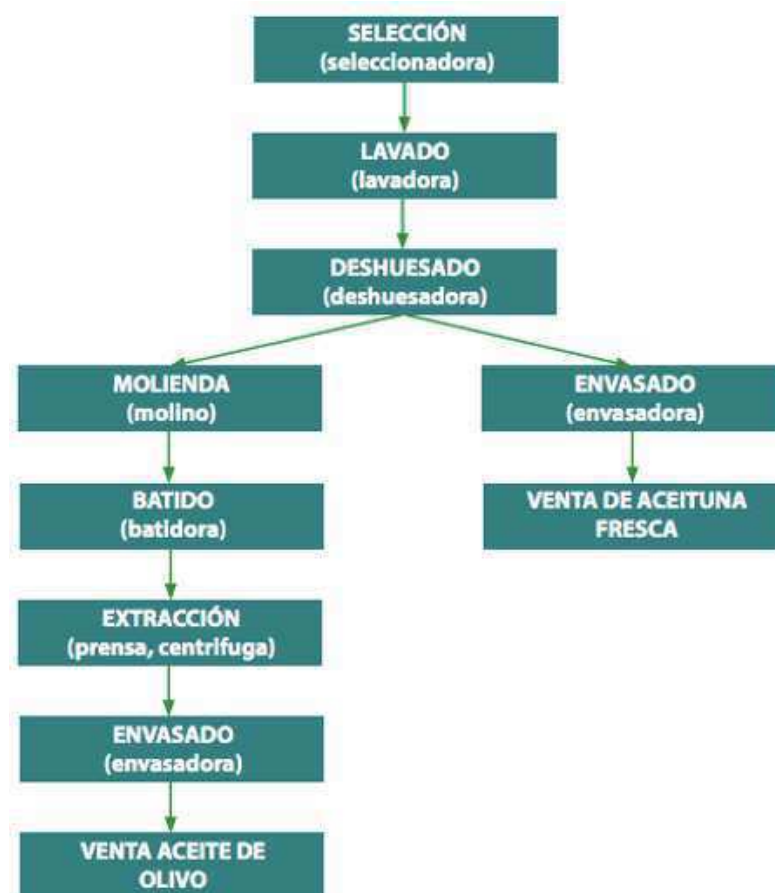


Figura 1.4. Flujograma de procesamiento

Para producir 1 litro de Aceite de Oliva son necesarios entre 4 y 5 kilos de aceitunas lo cual resulta en un rendimiento de entre el 18% y 24% de peso de Aceite en relación al peso de las Aceitunas procesadas para obtenerlo.

El Aceite de Oliva, al contrario que otros productos naturales como el vino, no mejora con el paso del tiempo y conviene consumirlo cuanto antes dentro del

año de su producción. Por lo tanto, cuanto antes se procese la Aceituna una vez que se ha recogido y cuanto menos agresivo térmica y físicamente sea el proceso, mejor resultado en cuanto a calidad se obtiene. Algunas variedades de Aceite como el de variedad Picual tienen una estabilidad superior y se pueden conservar hasta 18 meses sin perder sus cualidades sensoriales.

Si consideramos la producción de Aceites de Oliva Vírgenes no se producen mediante ningún proceso químico, ni térmico o físico agresivo lo cual da una idea clara de la diferencia de calidad entre los Aceites de Oliva Vírgenes y los refinados o extraídos partiendo de orujo en lugar de aceitunas frescas.

La inclusión de ésta máquina en el proceso de elaboración ofrece varias ventajas:

- Rapidez: Obtenemos unos 8000 kilogramos por hora al 100% del rendimiento de la máquina.
- Flexibilidad: Se puede seleccionar en 4 tipos, y dependiendo del tipo de aceituna que se quiera clasificar, solo habría que modificar la parte de Visión que será explicada más adelante.
- Menores requisitos de mano de obra.
- Calidad: Ofrecería un tipo de aceituna homogénea gracias a la Visión por Computador.
- Fiabilidad: La máquina realiza un estudio individualizado por aceituna, obteniendo una visión completa de ésta.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es desarrollar el programa encargado de realizar automáticamente la clasificación de aceitunas a través de una máquina real que se encuentra en el grupo iSR.

Objetivos específicos:

- Conocer el funcionamiento de la máquina, los componentes de los que está formado y su uso.
- Adquirir conocimientos del uso del software TwynCat para realizar la comunicación con la máquina a través de la tarjeta Beckhoff.
- Adquirir conocimientos previos de Java, lenguaje de programación que se utilizara para desarrollar la automatización.
- Adquirir conocimientos del entorno NetBeans y del desarrollo de interfaz.
- Conocer la filosofía basada en Agentes.
- Sincronización de los sensores y actuadores de la máquina.
- Ajuste del sistema de Visión por computador.

1.3 Contexto

Este proyecto ha sido realizado como Trabajo Fin de Master en el Máster de Ingeniería Industrial. A parte de tener fines académicos, se trata de una máquina real que saldrá al mercado en la ExpoOliva 2019.

Este proyecto ha sido propuesto por el grupo de investigación de robótica, automática y visión por computador de la universidad de Jaén y por la Start-up Integración Sensorial y Robótica, también conocida como iSR. Esta empresa cuenta con una amplia experiencia en el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas y de productos basados en la integración sensorial y en la automatización avanzada.

Una de sus líneas principales de trabajo es el sector AGRO. Desarrollan nuevas técnicas avanzadas de modelado y control automático. Dentro de este sector, la oliva es una parte fundamental.

En la parte enfocada a la aceituna, tienen desde hace poco una máquina clasificadora, como se puede ver en la Figura 1.5.



Figura 1.5. Máquina clasificadora

Gracias a que iSR dispone de esta máquina, se ha podido llevar a cabo este proyecto. Al trabajar allí, también se ha podido obtener apoyo del departamento de informática para la programación del software. En la Figura 1.6 se puede visualizar donde se ha estado trabajando la mayor parte del desarrollo del software y de la obtención de nuevos conocimientos referidos a la máquina.



Figura 1.6. Zona de trabajo

1.4 Antecedentes

La correcta clasificación de lotes de aceituna en la recepción de la almazara es crucial para obtener el mejor aceite posible en el proceso de extracción.

Desde no hace mucho tiempo, las aceitunas antes de ser introducidas en el molino se clasificaban a mano según sus características a fin de eliminar aquellas en mal estado, con una gran cantidad de operarios necesarios para realizar esta tarea.

Esta actividad tan trabajosa hace que en la clasificación se produzca una elevada incidencia de errores humanos debidos a la fatiga.

A lo largo de los últimos años están surgiendo iniciativas que tratan de aportar soluciones tecnológicas a factores que disminuyen la productividad del sector del aceite de oliva.

En la actualidad, se incluyen sistemas de clasificación fruto a fruto; siendo la tecnología de visión la única que ha dado respuesta a los altos requerimientos de esta industria (hasta 30 t/h), clasificando según el color, el tamaño y los defectos presentes en la superficie de los frutos.

Los tipos de defectos más relevantes son: frutos arrugados, daños producidos por insectos, daños producidos por criptógamas y hongos, y daños producidos por cuidados anormales.

Lo que más optimizaría la calidad y vida útil de los AOVE's sería la clasificación de aceitunas antes de la extracción por niveles de maduración y defectos, tanto bióticos como abióticos. Sin embargo, hasta el momento los productores no disponen de equipos, necesariamente de tecnología avanzada, que les permitan efectuar dichas operaciones de clasificación.

Uno de los aspectos más variables en las aceitunas es el color.

En el ámbito de la visión artificial el color puede establecerse en términos de coordenadas RGB o bien de coordenadas HSV (Hue o tono, Saturación o segmentación de pigmento, e Intensidad o luminosidad). Las coordenadas HSV son equivalentes a las L^*a^*b transformadas a coordenadas cilíndricas.

Existen distintos sistemas comerciales de visión artificial para la clasificación de aceitunas que emplean distintos espacios de color, aunque no cumplen completamente las expectativas de los productores en términos de porcentaje de clasificación correctos para distintas categorías.

La calidad del aceite se puede expresar en términos de calidad “potencial” (en el fruto) y calidad “real” (en el aceite). Se puede decir que la calidad “potencial” es función del contenido en polifenoles, del porcentaje lipídico o graso, de la humedad y del estado de madurez de los frutos, y complementariamente de la integridad y el estado sanitario.

Sólo en España hay más de 1.500 almazaras, que con la adopción de este desarrollo tecnológico verían incrementada su ventaja competitiva en el mercado internacional de AOVE's de alta calidad.

La sostenibilidad medioambiental está asimismo contemplada en estas prácticas industriales en relación con la optimización del uso de las distintas fracciones resultantes de los sistemas de clasificación, para la elaboración de diferentes calidades de aceites, maximizando el interés económico de la almazara y mejorando la eficiencia en la utilización de las materias primas.

A continuación, se exponen algunas maquinarias clasificadoras por color que se encuentran en el mercado:



Figura 1.7. Máquina seleccionadora manual

En la Figura 1.7 nos encontramos con la máquina más simple que está en el mercado. Esta máquina es una simple cinta en la cual la aceituna va rodando. La selección de la aceituna necesita de mano de obra, es decir, una serie de trabajadores para la correcta clasificación.



Figura 1.8. V20 EVO2

En la Figura 1.8 se ve reflejada la máquina V20 EVO 2, la cual realiza una detección selectiva y rechazo individual de aceitunas para la almazara, realizando la clasificación por color. La salvedad de ésta máquina radica en que solo podría realizar la separación de dos tipos de aceitunas, válido para hacer aceite y desechos.



Figura 1.9. V10

En la Figura 1.9 muestra una clasificadora de aceitunas por color en cosecha, también utilizando una cámara digital para diferenciar el tipo de color.

Otra máquina, que está en el mercado, sería la máquina clasificadora V20 como se muestra en la Figura 1.10 muy parecida a la máquina V20 EVO, pero ésta es utilizada en cosecha.



Figura 1.10. V20

Las diferencias claves entre las máquinas existentes en el mercado y la máquina en la cual se rodea el proyecto son:

- La máquina tiene capacidad de colocar 4 cámaras, 2 RGB y 2 infrarrojos.
- La visión por computador la realiza más cerca de la entrada de aceitunas, por lo tanto, dispone de más tiempo a la hora de realizar la Visión por computador.
- Está compuesta por 10 carriles y a pleno rendimiento puede clasificar 8000 kg de aceitunas a la hora.
- Solo será necesaria la presencia de un técnico capaz de controlar y manejar el software que se va a desarrollar en el proyecto actual y que tenga conocimientos de la parte sólida de la máquina.
- La tasa de éxito de la clasificación, como se podrá ver al final de este proyecto.
- El software utilizado es libre, por lo tanto, puede acceder cualquier persona.

2 METODOLOGÍA

En este apartado se va a exponer todo lo referido a la máquina. Esta máquina se compone de una parte de hardware y se podrían diferenciar dos partes de software como se puede apreciar en la Figura 2.1.

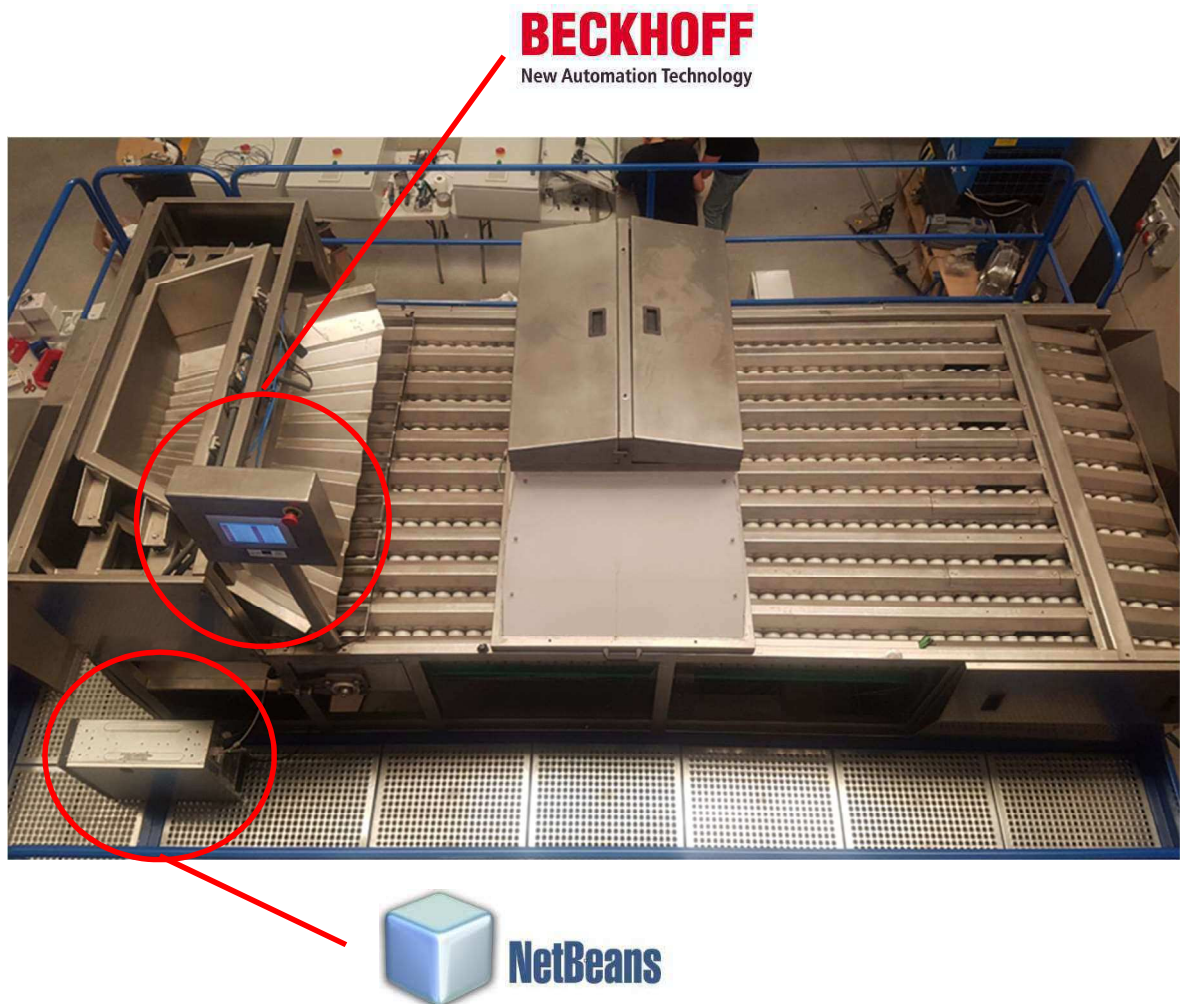


Figura 2.1. Estructura de la máquina

2.1 Máquina Clasificadora de Aceitunas

En primer lugar, se va a detallar y describir toda la parte del hardware referido únicamente a la máquina, incluyendo los actuadores y sensores de los que dispone para poder realizar la selección.

2.1.1 Dimensiones de la máquina

A continuación, se muestran una serie de imágenes con las dimensiones de la máquina reflejada en centímetros. En la Figura 2.2 se muestra el perfil de la máquina, destacando el ancho de ésta, de un poco más de 4 metros y medio. En la Figura 2.3 se puede visualizar la parte superior de la máquina, en la que se aprecia por donde va a entrar la aceituna y por donde abandonara la máquina.



Figura 2.2. Perfil de la máquina

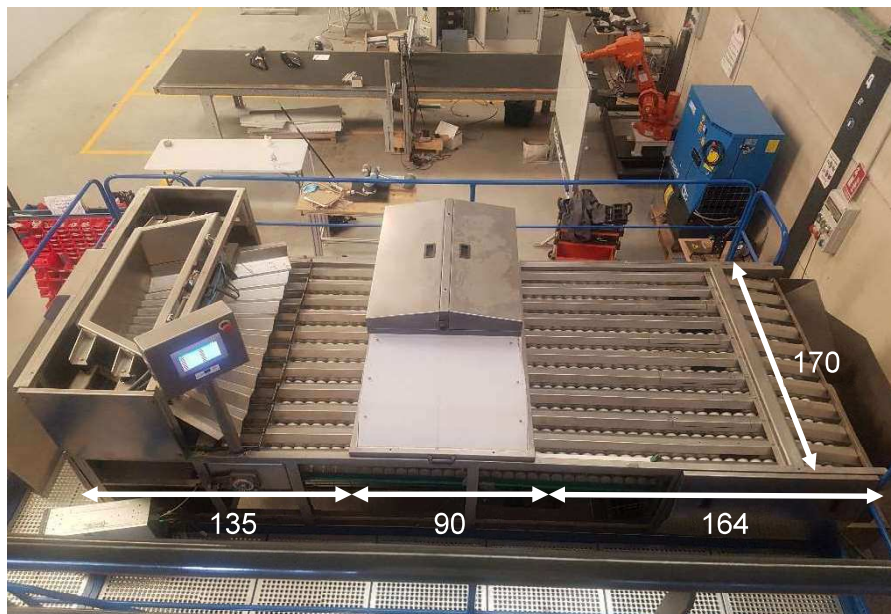


Figura 2.3. Vista superior de la máquina

En la Figura 2.4 aparece el lateral de la máquina, donde se aprecia las escaleras de subida para poder poner en funcionamiento el sistema, el cuadro eléctrico y en azul el compresor.

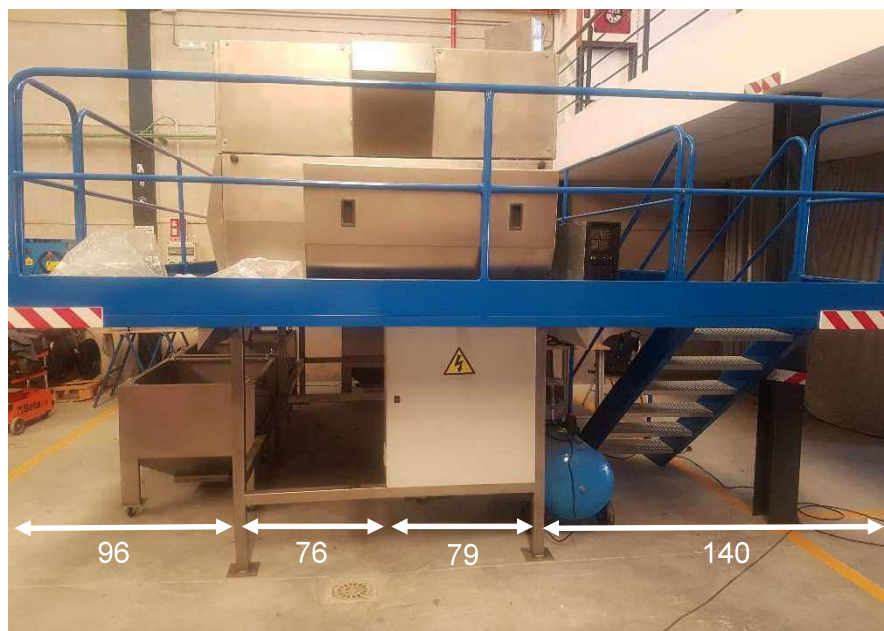


Figura 2.4. Lateral de la máquina

2.1.2 Sensores y actuadores

Como se puede apreciar en la Figura 2.9 se encuentran los sensores y actuadores de los que dispone la máquina.

Se dice de un *sensor* aquel dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en variables eléctricas. En el proyecto actual el sensor que proporcionará la información necesaria para conocer dónde está la aceituna en cualquier momento, será el sensor inductivo, colocado en los laterales de las cadenas de rodillos como se puede apreciar en la Figura 2.5 y la Figura 2.6.



Figura 2.5. Sensor inductivo vista lateral



Figura 2.6. Sensor inductivo vista interior

La funcionalidad de este sensor será la de detectar el paso de cada rodillo, como se puede apreciar en las figuras, detectando como un 1 el paso de la arandela metálica y como un 0 el paso de la parte no metálica. La manera de detectar este 1 ó 0 se realizará con la tarjeta BECKHOFF que se explicará más adelante con detalle.

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar una energía en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un elemento externo. En la máquina se dispone de sensores hidráulicos capaces de ejercer una presión suficiente para expulsar la aceituna de la máquina por cada ranura correspondiente. En la Figura 2.7 se puede apreciar cómo están formados los actuadores neumáticos, pudiéndose ver que se compone de tres válvulas de salida, y de una entrada de aire comprimido por un lateral.

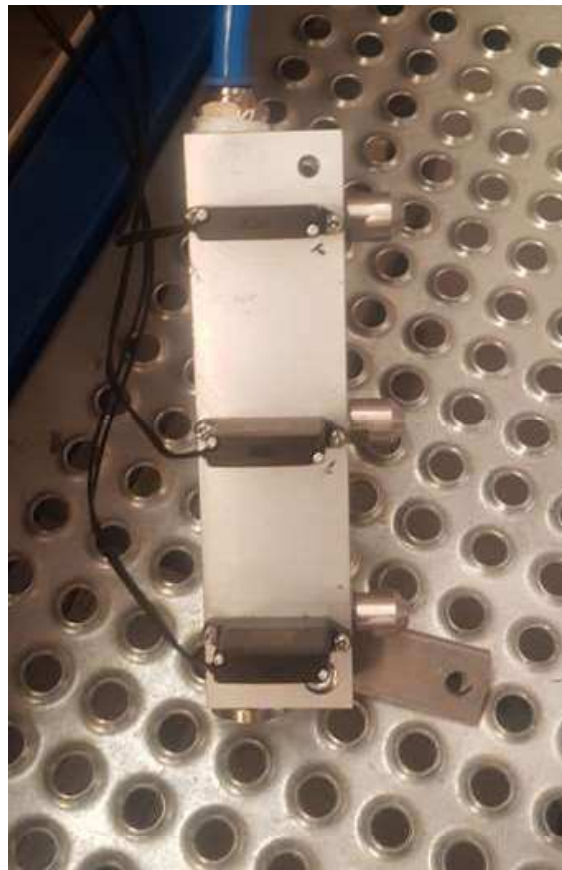


Figura 2.7. Actuador neumático

En la Figura 2.8 se aprecia cómo están colocados, y por donde saldría la aceituna.

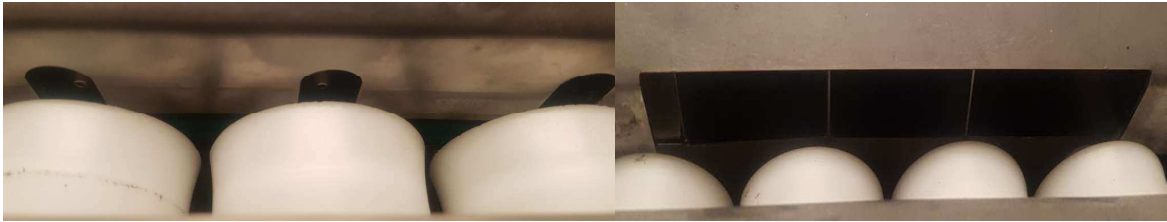


Figura 2.8. Entrada y salida del actuador

2.1.3 Componentes de la máquina

En este apartado se van a indicar las partes de la máquina, y como sería el funcionamiento de ésta, desde que se echa la aceituna hasta que sale de la máquina. A continuación, se muestra la Figura 2.9 en la que se puede ver la colocación de cada una de las partes, y seguidamente se hablará individualmente de ellas.

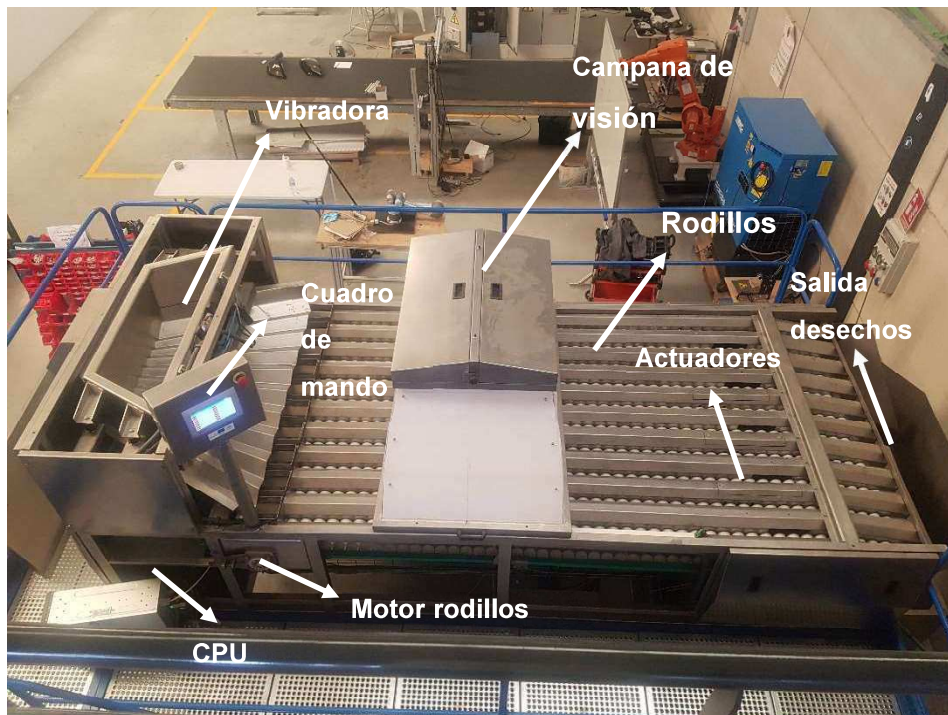


Figura 2.9. Partes de la máquina

2.1.3.1 Campana Visión por Computador

En esta campana (Figura 2.10) se colocarán las cámaras y los dispositivos de iluminación para poder realizar la visión por computador.

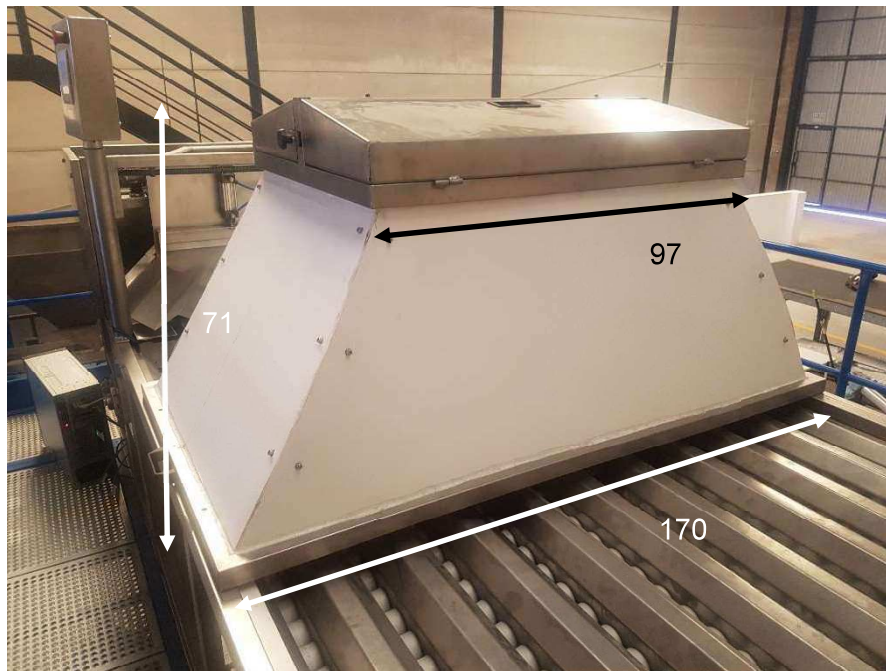


Figura 2.10. Campana de Visión por Computador

En este punto se efectuará la toma de imágenes de las aceitunas para realizarse después el procesado de la imagen, para su posterior selección.

El uso de la campana para colocar las cámaras es para evitar la entrada de suciedad y polvo, y así poder obtener una mejor captura de imagen.

En el interior de esta campana se colocará una cámara Genie Nano 2420 con la cual se realizará la toma de imágenes. Esta campana está diseñada para soportar otra cámara serie Nano y dos cámaras de infrarrojos.

A parte de la cámara se colocará un foco de iluminación de la marca Komoto, como se muestra en la Figura 2.12

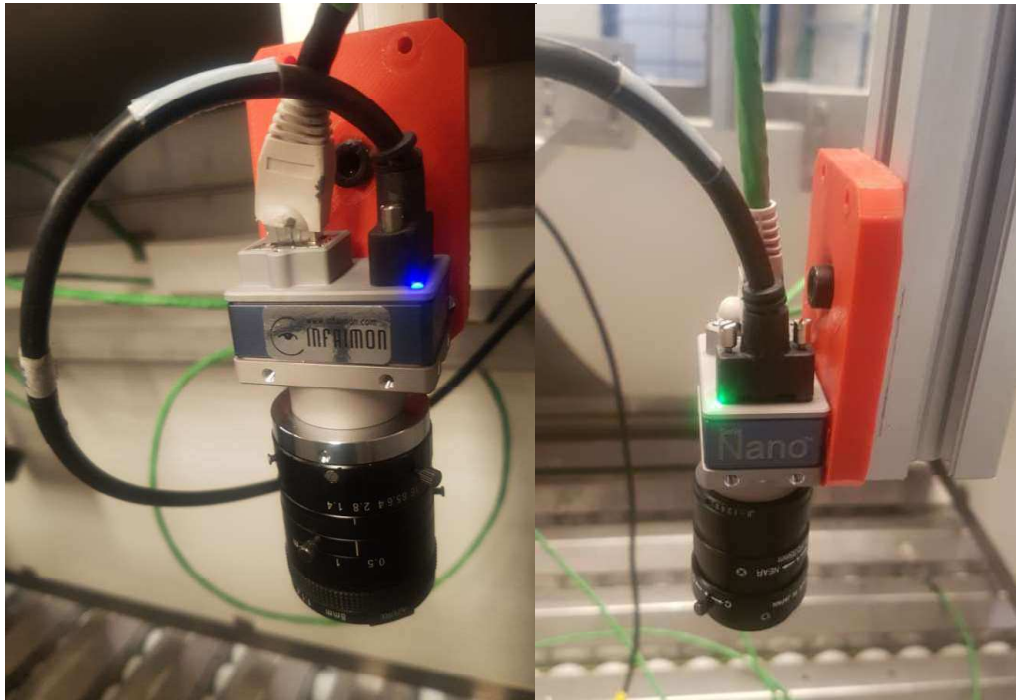


Figura 2.11. Camara Genie Nano 2420



Figura 2.12. Flash de la cámara

2.1.3.2 Vibradora

La vibradora (Figura 2.13) se utilizará para que a la hora de echar la aceituna dentro, esta se separe de una a una pasando por cada carril, para que no se amontonen varias en cada uno de los carriles. Y aparte de esta funcionalidad, para que no se obstruya la salida de las aceitunas a los carriles.



Figura 2.13. Vibradora

2.1.3.3 Cuadro de mando

Desde el cuadro de mando se podrá controlar toda la máquina de dos formas diferentes, modo manual y modo automático.

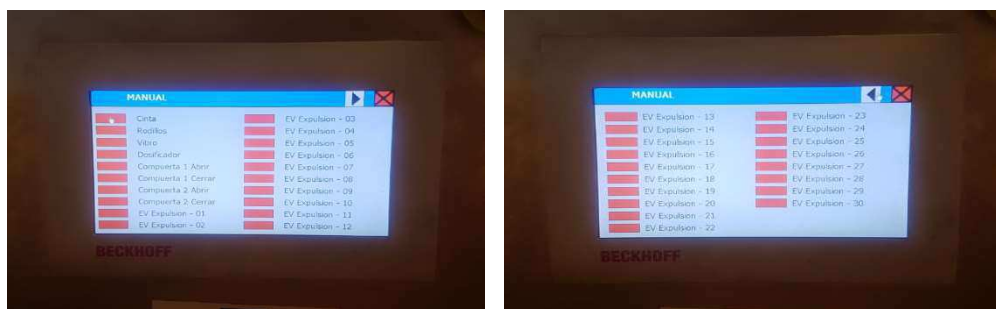


Figura 2.14. Cuadro de mando modo manual

Si se utiliza el modo automático (Figura 2.15), basta con indicar a la velocidad a la que se quiere que se desplacen los rodillos para que toda la máquina empiece a funcionar. En el modo manual (Figura 2.14) se puede activar forzosamente cada una de las partes de la máquina. Este modo es de gran ayuda para comprobar si todas las partes funcionan correctamente.

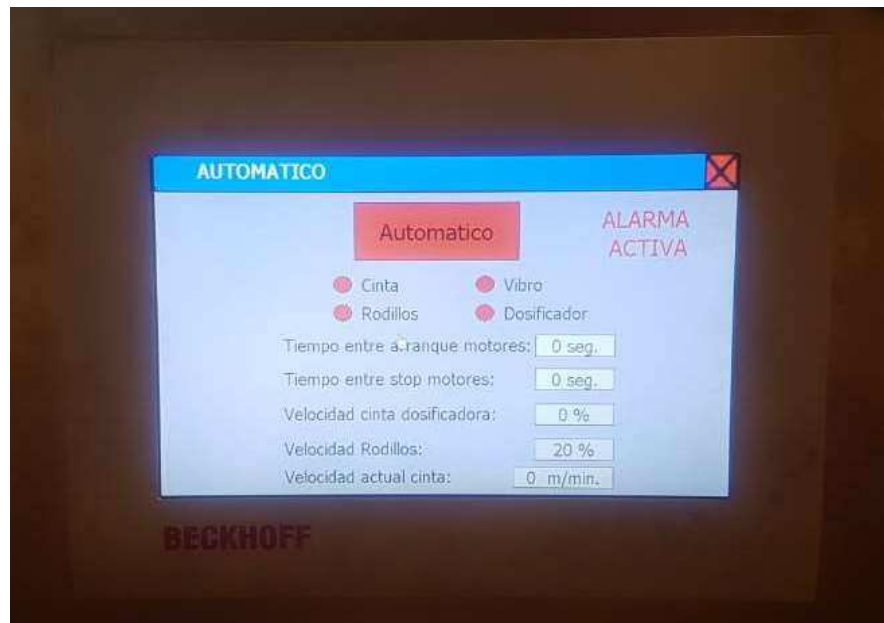


Figura 2.15. Cuadro de mando modo automático

2.1.3.4 Rodillos

Parte fundamental de la máquina, gracias a su estructura.(Figura 2.16)

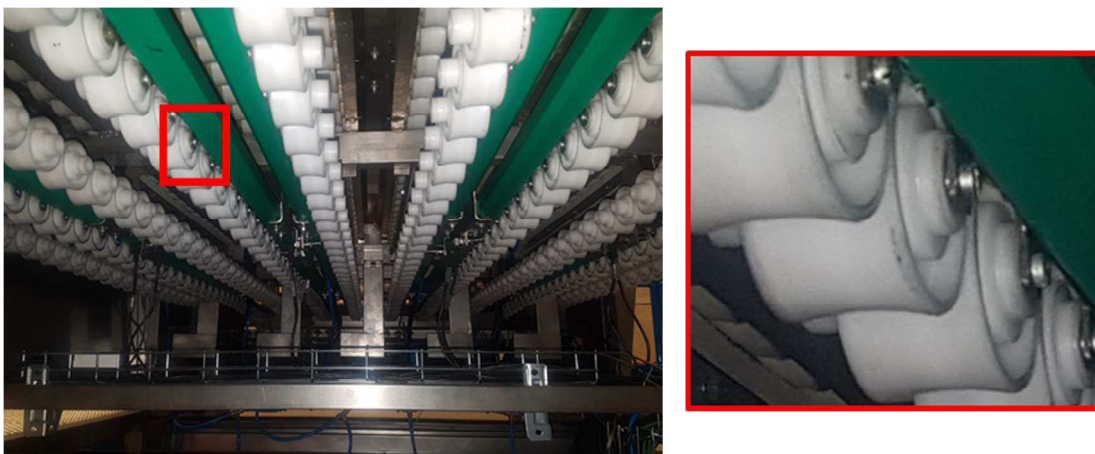


Figura 2.16. Visión inferior de la maquina

Como se puede apreciar en la imagen, la parte central del rodillo, el eje, es de material metálico. Al ser este tipo de material, el sensor inductivo podrá detectar en qué momento pasa cada rodillo.

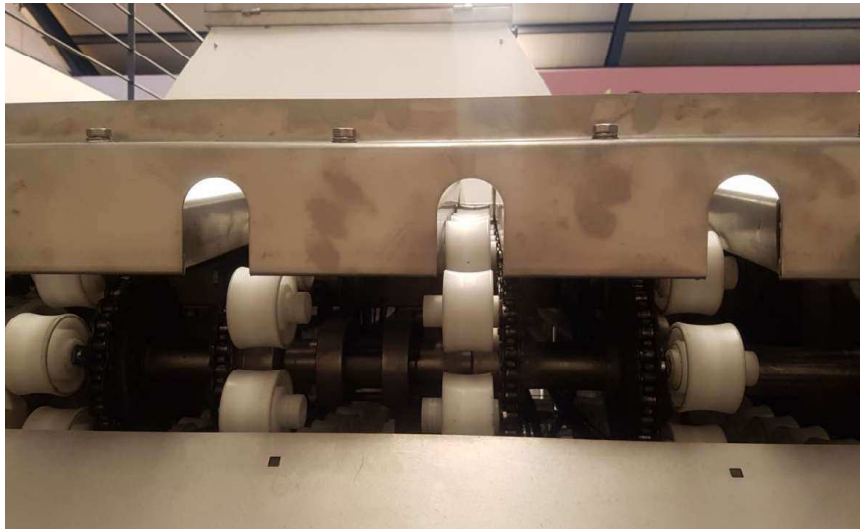


Figura 2.17. Final de la cadena

2.1.3.5 CPU

El ordenador estará dentro del habitáculo, como se puede apreciar en la Figura 2.18, y a través de un ratón y teclado bluetooth se podrá acceder a él. El ordenador estará en sintonía con la tarjeta Beckhoff gracias al programa desarrollado que se explicará más adelante. Una vez realizado este programa, solo habría que configurar la parte de visión por computador, por si se quiere cambiar de tipo de selección.



Figura 2.18. CPU y colocación

En la Figura 2.18 se puede ver el ordenador utilizado para desarrollar el software, y donde irá colocado en la máquina.

2.1.3.6 Actuadores

Este componente ha sido comentado en el punto 2.1.2.

2.1.3.7 Cuadro eléctrico

Desde el cuadro eléctrico (Figura 2.19) se suministra toda la corriente necesaria para que funcione la máquina.



Figura 2.19. Cuadro eléctrico

2.1.3.8 Compresor

El compresor (Figura 2.20), que se utiliza para expulsar las aceitunas, es un compresor portátil de correas, el cual está compuesto por un nanómetro indicador de presión y un regulador de presión para ajustar la cantidad de bares necesarios para expulsar las aceitunas de la cadena de rodillos.



Figura 2.20. Compresor de pistón

2.1.3.9 Cinta

La cinta (Figura 2.21) será encargada de transportar la aceituna desde la expulsión de los rodillos a las 4 tolvas con la diferenciación de las aceitunas.



Figura 2.21. Cinta

2.1.3.10 Cuadro del PLC (Tarjeta Beckhoff)

En este lugar (Figura 2.22) se encuentra todo el cableado para realizar las conexiones del PLC utilizado para la sincronización de la máquina.



Figura 2.22. PLC

2.1.4 Funcionamiento de la máquina

La aceituna, es decir el producto a seleccionar, se depositará por la vibradora. Una vez que pasa de la vibradora, por cada uno de los diez carriles que contiene la máquina aparecerá una única aceituna. Al pasar por debajo de la campana de visión se efectuarán las respectivas tomas de imágenes para poder conocer el tipo de aceituna con el que se encuentra. La aceituna seguirá avanzando a través de las cadenas de rodillos hasta llegar a la zona de los actuadores neumáticos, en la cual saldrá la aceituna por la posición 1,2 ó 3 dependiendo del tipo de aceituna que sea. El cuarto tipo de aceituna se considerará desecho, por lo tanto, seguirá avanzando hasta abandonar la máquina. Los tipos de aceituna 1,2 y 3 caerán a la cinta colocada en la parte inferior de la máquina y ésta las desplazará hasta abandonar la máquina en diferentes depósitos.

Visto el funcionamiento se considera un proceso cíclico y continuo, realizando en todo momento el mismo tipo de proceso. Después de comentar todo lo referido a las partes de la máquina y su funcionamiento en modo resumen, se procederá a explicar el programa desarrollado para que todo funcione de forma correcta y simultánea.

2.1.5 Tecnología de automatización Beckhoff

Beckhoff ofrece sistemas abiertos para la automatización basados en la Tecnología de control por PC. La nueva filosofía de Beckhoff apuesta por el control abierto y soluciones para la automatización que se utilizan a nivel mundial en una gran variedad de aplicaciones distintas.

Esta tarjeta es un controlador lógico programable (PLC) o autómatas programables. Un PLC es una computadora utilizada en la automatización industrial usada para automatizar procesos electromecánicos. A diferencia de las computadoras de uso general, está diseñado para múltiples señales de entrada y salida. En concreto, la tarjeta utilizada es la tarjeta EtherCAT EK1100, como puede verse en la Figura 2.23.

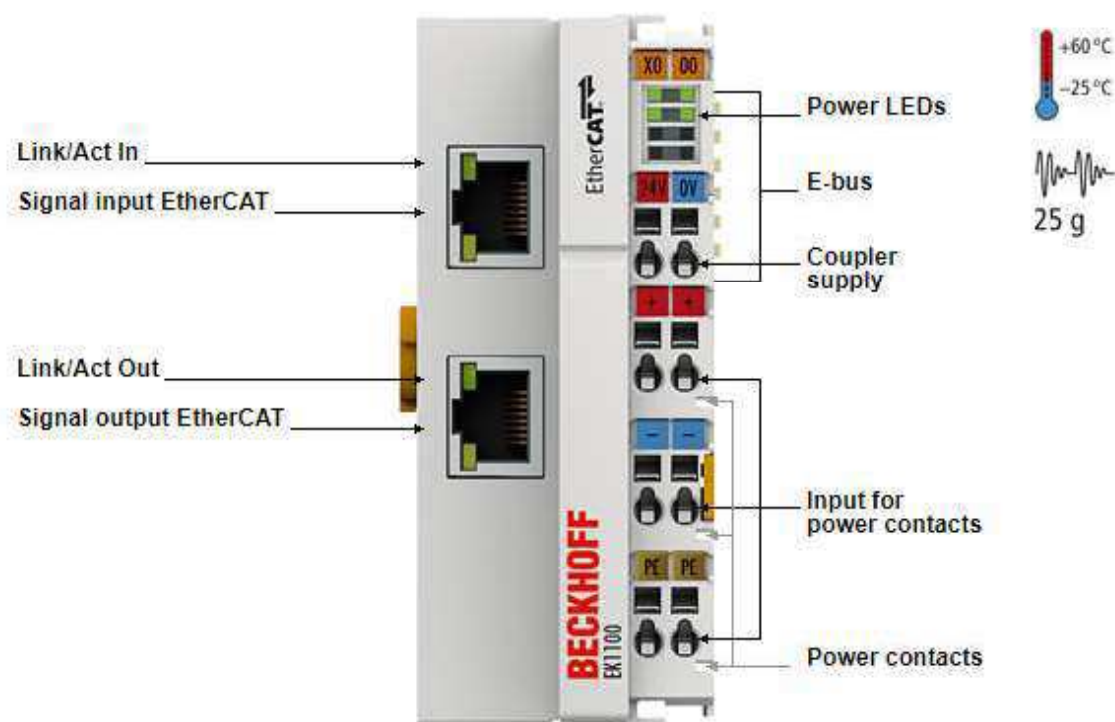


Figura 2.23. Tarjeta EtherCAT EK1100

La ventaja primordial del uso de este PLC es ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales.

Por otro lado, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo pudiéndose controlar más de una maquina al mismo tiempo con un mismo PLC.

La tarjeta Beckhoff proporcionará las bases para la comunicación entre lo que están leyendo los sensores de la máquina y que el usuario pueda comprenderlo, al igual que se encargara de recibir y comprender una acción enviada por el usuario para que se active alguno de los actuadores implementados.

Para poder realizar la sincronización es necesario utilizar el software TwinCAT, desarrollado por Beckhoff, en el cual se realiza esta sincronización en tiempo real pudiéndose conocer el cambio de estado de todas las señales disponibles en la máquina.

2.2 Herramientas software

Este subapartado recogerá la mayor parte del software del proyecto, donde se explica la comunicación entre la máquina y el usuario, dejando la Visión por computador para el subapartado posterior.

2.2.1 NetBeans

NetBeans es un entorno de desarrollo integrado libre, hecho principalmente para el lenguaje de programación Java.



Figura 2.24. Icono NetBeans

Sun Microsystems fundó NetBeans en Junio de 2000 y continúa siendo el patrocinador principal de los proyectos, aunque actualmente es administrado por Oracle Corporation.

Esta plataforma nos permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados módulos. Tiene como ventaja que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, por lo que pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software.

Como características principales de esta plataforma se pueden enumerar las siguientes:

- Se caracteriza por tener un buen editor de código multilenguaje, con un coloreado habitual y facilitador de código, clases etc, lo que simplifica la labor del programador a la hora de implementar todas las secuencias.
- Simplifica la gestión de grandes proyectos con el uso de diferentes vistas, asistentes de ayuda y estructurando la visualización de manera ordenada.
- Tiene a su disposición una herramienta para el depurado de errores, en el cual, utilizando el debugger, se indica los errores del código compilado. También se pueden definir puntos de ruptura, en el cual se queda en stand-by el código y no avanza más, pudiéndose conocer el valor que tienen todas las variables definidas hasta ese punto. Esta herramienta ha

sido de gran utilidad a la hora de ir conociendo la posición en la cual se situaba la aceituna en la cadena de rodillos, a la vez de conocer si la aceituna detectada era la correcta.

- También se puede encontrar herramientas externas para la optimización del código, consiguiendo una ejecución más rápida necesitando menos espacio de memoria.
- Acceso a base de datos: desde el propio Netbeans podemos conectarnos a distintos sistemas gestores de bases de datos, como pueden ser Oracle, MySql y otros, ver las tablas, realizar consultas y modificaciones, y todo ello integrado en el propio IDE.
- Se integra con diversos servicios de aplicaciones, de tal manera que podemos gestionarlos desde el propio IDE: inicio, parada, arranque en modo debug, despliegues. Entre otros se podrían usar Apache Tomcat, GlassFish, JBoss, WebLogic, Sailfin, Sun Java System Application Server,...

2.2.2 Lenguaje de programación java

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos, que trata de obtener resultados de salida con objetos que manipulan datos de entrada. En la actualidad es un lenguaje muy extendido y cada vez cobra más importancia tanto en el ámbito de internet como en la informática en general.

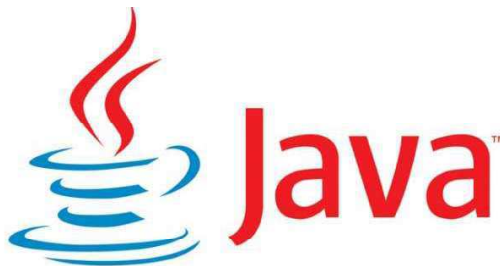


Figura 2.25. Icono Java

Java fue anunciado por Sun Microsystems en el año 1995 y creado por James Gosling. Este lenguaje está basado en C++ pero con menos utilidades a bajo nivel.

Como características principales se pueden mencionar las siguientes:

- El lenguaje está totalmente orientado a Objetos y resulta ser un lenguaje simple.

- Dispone de un amplio conjunto de bibliotecas, pudiéndose utilizar un amplio conjunto de clases que Sun pone a disposición del programador y con la cual se puede realizar cualquier tipo de aplicación.
- Es robusto, ya que fue diseñado para crear un software fiable. Proporciona numerosas comprobaciones en compilación y en tiempo de ejecución.
- Una de las características que ha hecho más famoso este lenguaje es el ser independiente de la plataforma, lo que permite que con un único programa se pueda utilizar para diferentes sistemas operativos.

2.2.3 Programación basada en agentes

Este tipo de programación ha sido durante mucho tiempo un asunto de discusión e investigación en la comunidad científica, pero solo desde hace poco tiempo se han comenzado a ver un grado significativo de exploración en aplicaciones comerciales, aplicaciones industriales, control de procesos, etc.

Este tipo de programación modela aplicaciones con un conjunto de componentes llamados agentes que se caracterizan por su autonomía, proactividad y su habilidad para comunicarse entre ellos.

La cualidad de autonomía implica que pueden independientemente llevar acciones complejas durante un largo periodo de tiempo sin ralentizar el transcurso del programa desarrollado.

El ser proactivo indica que pueden tomar iniciativa sobre sus tareas sin un estímulo explícito por parte del usuario.

Al poderse comunicar con otros agentes punto a punto permite dividirse tareas entre diferentes agentes y así llegar a un fin común complejo más rápidamente.

Para el desarrollo de nuestro programa ha sido imprescindible este tipo de programación, ya que, si se hubiera utilizado una programación lineal, no daría tiempo a realizar la detección del inductivo, el procesamiento de la imagen y la salida de la aceituna por consiguiente se colapsarían los momentos y se perdería mucha información. Gracias a este tipo de programación, se tendrá a disposición una serie de agentes, que cada cual realiza su tarea y está a la espera de recibir un mensaje y efectuar su objetivo. En un apartado posterior se explicará detalladamente el número de agentes utilizado y la funcionalidad de cada uno para la sincronización total de la máquina.

2.2.4 Machine Learning

El Machine Learning (Figura 2.26) es una disciplina científica del ámbito de la Inteligencia Artificial que crea sistemas que aprenden automáticamente. En el contexto, en el que se sitúa el Machine Learning, aprender quiere decir identificar que se crean programas capaces de generalizar comportamientos a partir de una información suministrada en forma de ejemplos.

Para poder implementar esta disciplina en la máquina de estudio se ha utilizado la plataforma de software para el aprendizaje automático denominado WEKA.

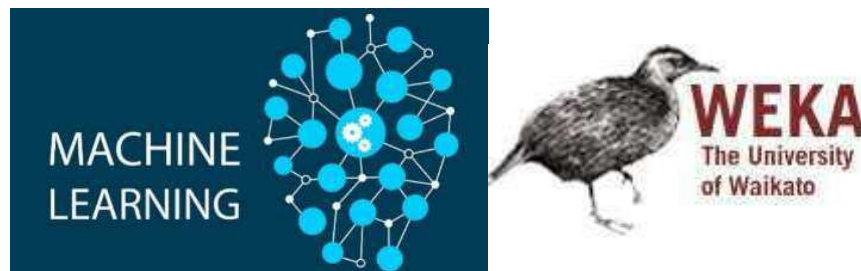


Figura 2.26. Iconos Machine Learning y weka

El paquete Weka contiene una colección de herramientas de visualización y algoritmos para análisis de datos y modelado predictivo, unidos a una interfaz gráfica de usuario para acceder fácilmente a sus funcionalidades.

Será interesante utilizar este software para realizar el procesamiento de las imágenes ya que:

- Es de uso libre
- Está completamente implementado en Java, y puede funcionar en casi cualquier plataforma
- Contiene una extensa colección de técnicas para reprocesamiento de datos y modelado.

2.3 Visión por computador

Dentro de la visión por computador, la detección de objetos es uno de los temas más estudiados. A priori este problema puede resultar sencillo, siempre y cuando en una imagen solo se tenga que encontrar un objeto determinado.

Para comprender el problema al que se enfrenta la visión por computador se tiene que pensar en cómo es una imagen digital. Las imágenes digitales se componen de matrices tridimensionales, donde las dos primeras dimensiones representan la posición de un punto en una imagen y la tercera el color de dicho punto (Red, Blue, Green). Por lo tanto cada pixel es representado por tres componentes que codifican su color como una combinación de rojo, verde y azul, como se aprecia en la Figura 2.27.

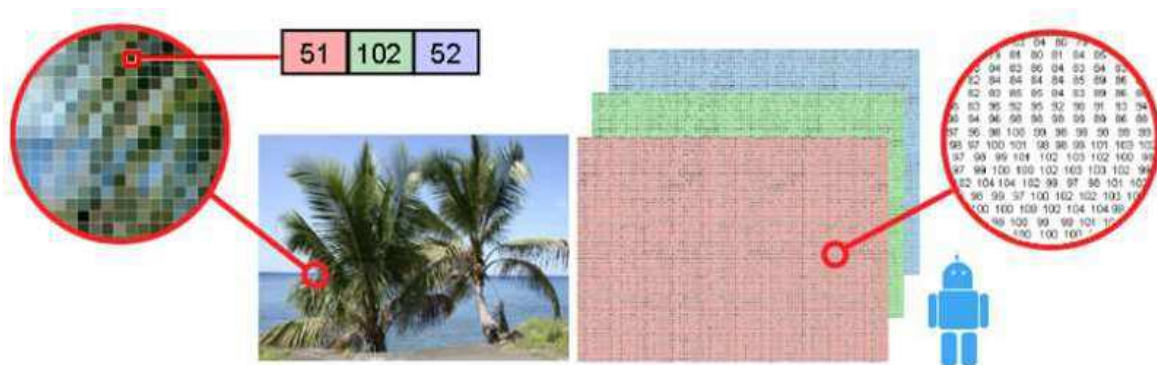


Figura 2.27. Ejemplo imagen RGB

Por consiguiente, cuando se busca un objeto, o una aceituna como sería el caso de éste Trabajo, el objetivo es hallar patrones que correspondan con el objeto buscado, es decir, disposiciones concretas de puntos de un determinado nivel o color dentro de una matriz.

Para realizar la selección de las aceitunas, como se ha comentado en apartados anteriores, se utilizará una cámara Genie Nano 2420 RGB.

La iluminación es un factor muy importante para que se pueda obtener con total seguridad la información necesaria para realizar una selección de objeto idónea.

La máquina contiene una iluminación direccional estroboscópica. La luz estroboscópica es una fuente luminosa que emite una serie de destellos muy breves en rápida sucesión y se usa para producir exposiciones múltiples de las fases de un movimiento. Utilizando este tipo de iluminación ayuda a evitar la borrosidad en la toma de imágenes.

2.4 Agentes desarrollados

En este apartado se va a explicar las diferentes partes del código desarrollado, es decir, los diferentes tipos de agentes implementados. Se comenzará con una visión general, y luego se explicará detalladamente la función de cada Agente. En el próximo punto se indicará cómo interacciona cada parte del código enviando y recibiendo mensajes.

2.4.1 Inicio (Main)

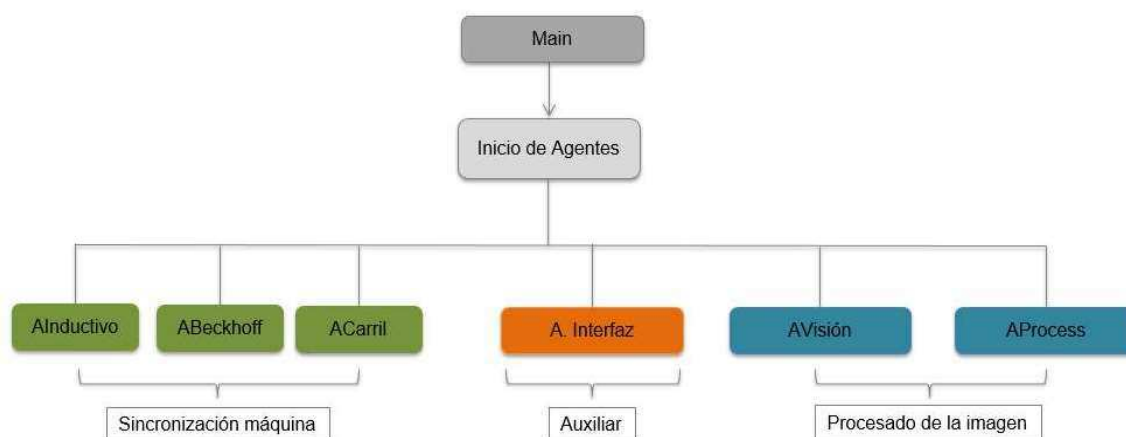


Figura 2.28. Flujograma general del programa

Cuando se active el programa desarrollado en Netbeans, este partirá de la clase Main (Figura 2.28). Desde aquí pasa a la clase Agents donde se activarán todos ellos. En Agents se inicializan todos los agentes que van a ser utilizados por el programa. Una vez inicializados todos los agentes, todos tienen que devolver un mensaje a AStateManager, que no ha habido ningún problema en la inicialización y que todos están listos para usarse.

2.4.2 Agente ABeckhoff

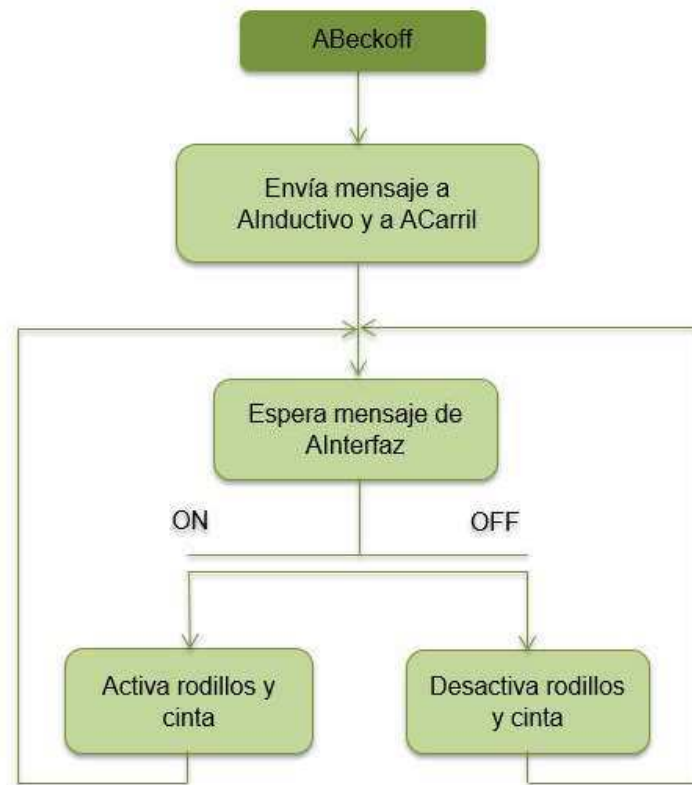


Figura 2.29. Flujograma agente ABeckhoff

Al inicializarse este agente (Figura 2.29) enviará la información necesaria tanto al agente ACarril como al agente AInductivo para su correcto funcionamiento. La información que necesita ACarril son las Marcas necesarias de la lista de salidas (“outputs”) para poder seleccionar la válvula correcta. Mientras que el Agente AInductivo obtiene el sensor (“inputs”) para conocer el paso del rodillo.

Cuando obtenga como mensaje un “ON” activará tanto los rodillos como la cinta para que la máquina empiece a funcionar. Cuando reciba como mensaje un “OFF” parará ambas partes y la máquina se quedará en pausa.

2.4.3 Agente ACarril



Figura 2.30. Flujograma agente ACarril

Este agente (Figura 2.30) se encarga de tener el control de un vector que se supondrá como la cadena de rodillos, y gracias a la información que obtiene de los agentes AInductivo y AProcess, podrá conocer el momento en el cual se tiene que activar una de las 3 válvulas utilizadas para la expulsión de la aceituna de la máquina.

Antes de seguir con la explicación de este agente, es necesario realizar una aclaración del objeto “Aceituna” que será utilizado posteriormente. Este objeto “Aceituna” se puede considerar una variable, la cual tendrá como información la dirección a la que apunta en la memoria, a la vez que el tipo de aceituna que es, siendo 0-vacio, 1-verde, 2-azul y 3-morado.

Al iniciar este agente, se crea un vector de 21 posiciones. Para simplificar la explicación, se muestra un vector de 10 posiciones como se muestra en la Figura 2.31.



Figura 2.31. Vector de 10 posiciones

Como se puede apreciar, al crear el vector de las 10 posiciones, también se le añade un objeto “aceituna” con valor de 0, es decir, está vacío.

Este agente ya está iniciado y a la espera de un mensaje para poder seguir con su función. Una vez que recibe un mensaje, añade una aceituna al final de este vector creándose un vector de en vez de 10 posiciones, de 11, como se muestra en la Figura 2.32.



Figura 2.32. Vector de 11 posiciones

Una vez añadido esta nueva posición con un nuevo objeto “Aceituna”, envía un mensaje para que se realice una nueva toma de imagen. Es imprescindible enviar con este mensaje el último objeto “Aceituna” utilizado para que se pueda llevar a cabo el proceso.

Acto seguido se realiza la comprobación de las tres primeras posiciones del vector mostrado. Si el tipo de aceituna de la posición 0 del vector es de tipo 3, es decir, morada, se accionará la válvula más alejada de la cadena. Si fuera de tipo 2, se accionará la intermedia y si fuera de tipo 1 se accionará la más cercana.



Figura 2.33. Accionamiento de válvulas

Como se aprecia en la Figura 2.33, la válvula solo se activará, cuando coincida con su respectivo color.

Cuando ya se ha realizado la comprobación, y se han activado las válvulas correspondientes, se elimina el primer elemento del vector, desplazándose todas las “Aceitunas” hacia la izquierda una posición, quedando como se muestra en la Figura 2.34.

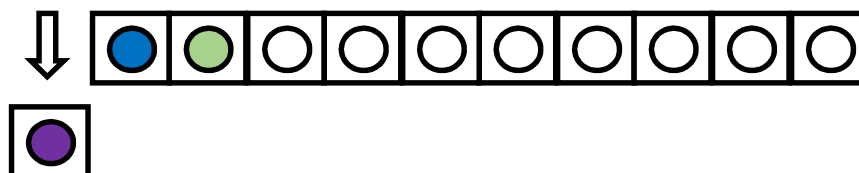


Figura 2.34. Eliminación de la primera posición

A partir de aquí, se vuelve a la posición inicial después de haber creado la cadena y a la espera de otro nuevo mensaje.

2.4.4 Agente AInterfaz

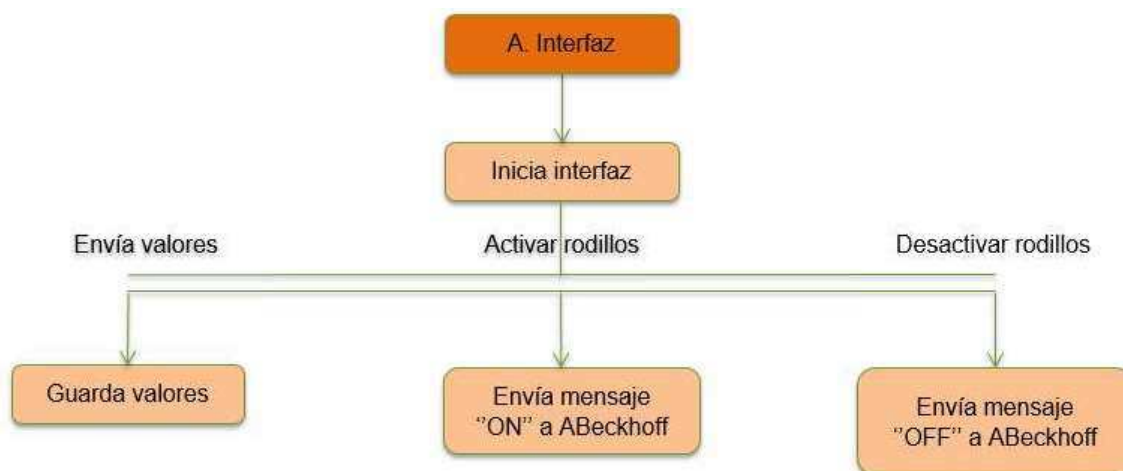


Figura 2.35. Flujograma agente AInterfaz

Este agente (Figura 2.35) ha sido de gran utilidad para realizar pruebas durante el transcurso del desarrollo del programa. Es una interfaz sencilla en la que podremos interactuar con la máquina. Como se aprecia en la Figura 2.36 dispone de un botón para que los rodillos se pongan en marcha o se paren, y tres zonas de entrada de datos para obligar a que cada una de las posiciones del vector sea la indicada. Una vez que utilizas el botón de Enviar los valores, se creará una secuencia cíclica en la que siempre saldrá la aceituna en el orden preestablecido. En el punto de filosofía adoptada se comenta con más claridad la funcionalidad de éste agente.

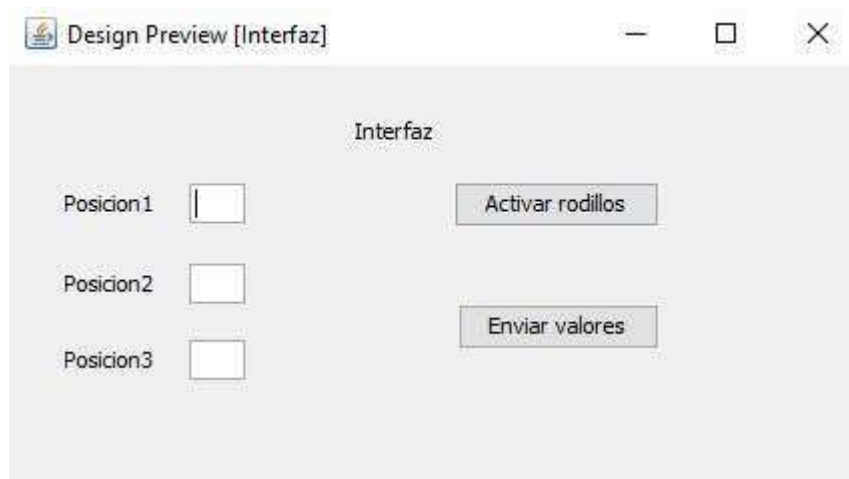


Figura 2.36. Interfaz Gráfica

2.4.5 Agente Alinductivo

El agente que se va a explicar ahora (Figura 2.37), tiene como función exclusiva la de detectar el paso de un rodillo de la cadena. Gracias a este agente se conoce la posición en la que se encuentra cada aceituna en cualquier momento.

Al iniciarse este agente no realiza nada, solo está a la espera de que le lleguen dos mensajes, INIT y ON.

Cuando recibe el mensaje INIT, también recibe el inductivo en el cual se va a trabajar, con el valor que tiene en ese momento. Los valores pueden ser 0, si apunta el sensor a la zona de plástico del rodillo, ó 1 si apunta a la zona metálica de los rodillos.

Cuando recibe el mensaje ON, activa la lectura del cambio del sensor de 1 a 0 hasta que la maquina deja de funcionar. Para realizar ésta parte, se tiene que tener en cuenta que se tiene que detectar el cambio de 1 a 0 o viceversa para que se conozca cuando un rodillo ha pasado. Para ello, continuamente se estará leyendo el nuevo valor que te ofrece el sensor, y cuando éste sea diferente indicara que se ha detectado un cambio de material. Una vez detectado se realiza la comprobación de que este valor sea 1, es decir la parte metálica, y enviara un mensaje de que se ha detectado el cambio.

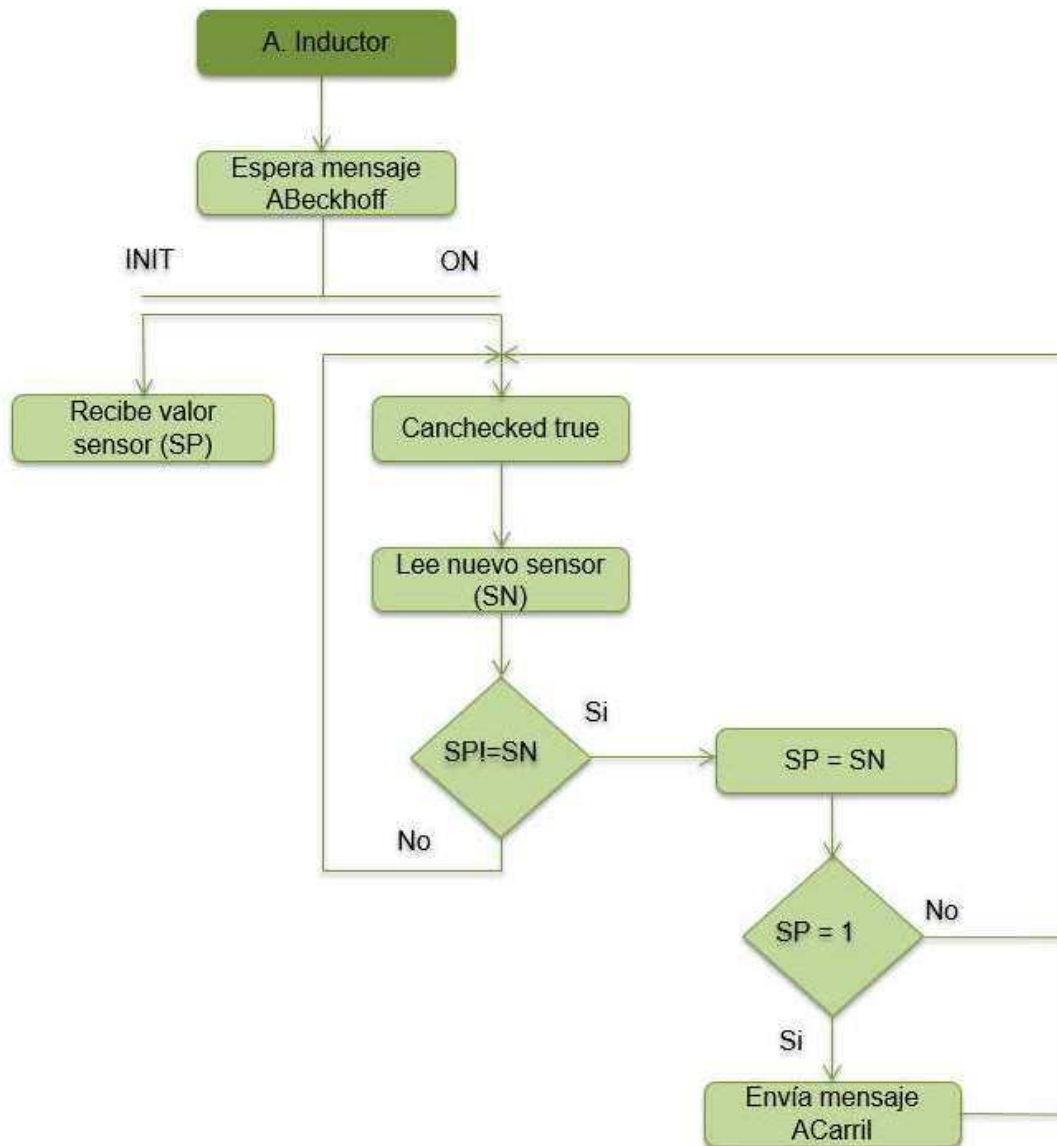


Figura 2.37. Flujograma agente AInductivo

2.4.6 Agente AVision



Figura 2.38. Flujograma agente AVision

La función de este agente (Figura 2.38) es la de realizar la captura de imágenes. Cada vez que recibe un mensaje, también obtiene el objeto “Aceituna”, para que, a la hora de realizar el procesamiento de la imagen, se sepa de que “Aceituna” se está tratando. Una vez realizada esta captura, la guarda en una carpeta denominada “resources” donde estarán todas las imágenes preparadas para realizar el procesamiento de ellas. Después se envía un mensaje para que empiece el procesamiento de la imagen, en el cual se enviará con la aceituna recibida anteriormente.

2.4.7 Agente AProcess

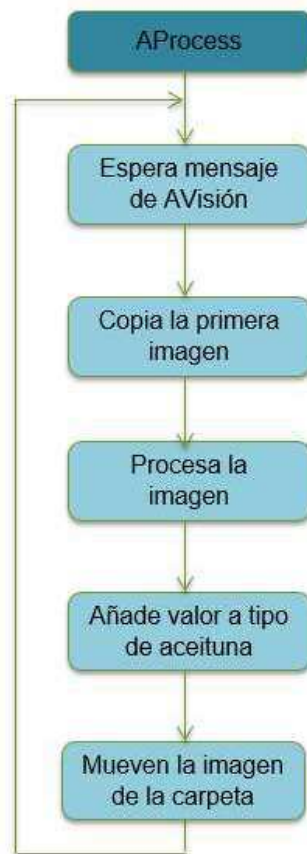


Figura 2.39. Flujograma agente AProcess

AProcess (Figura 2.39) se encargará de realizar todas las acciones necesarias para detectar la aceituna por la cual ha pasado en un momento dado.

El agente estará en espera hasta que reciba un mensaje con el objeto “Aceituna”. Una vez recibido este mensaje, tomará la primera imagen que se encuentra en la carpeta “resources”. Realiza el procesamiento de ésta imagen gracias al modelo entrenado por Weka, que será explicado más adelante, y obtendrá como resultado el tipo de aceituna a la que se refiere la imagen procesada. Se transmitirá este valor al objeto “Aceituna” cambiando el tipo de aceituna que es y ya se quedará reflejado en el vector carril.

Una vez terminado este proceso, moverá esta imagen a otra carpeta llamada “Classified” donde se encontrarán todas las imágenes procesadas.

2.5 Solución adoptada

En este apartado se va a comentar el seguimiento del desarrollo del programa desde el inicio hasta el final.

2.5.1 Primera fase

Un compañero del Grupo iSR ya realizó un programa en TwynCat en el cual se podría conocer toda la sincronización entre sensores y actuadores de la máquina, pero con esto no era suficiente para poder realizar la lectura de estos sensores, poder enviar señales a los actuadores y que estos lo reconociesen. Para ello se han desarrollado un conjunto de marcas, vinculadas cada una de ellas con un sensor o un actuador, y a partir de esta marca, ya si se puede realizar la comunicación con el programa desarrollado en Netbeans.

Una vez realizadas todas estas marcas, se comprobó que los rodillos, cinta y válvulas se activaban al escribirle un 1 a esa marca, y se paraban al escribirle un 0. También mostraba por pantalla el valor del sensor del inductivo, pero la información que mostraba no era la idónea, ya que repetía el mismo valor varias veces hasta que este devolvía el cambio de este valor.

2.5.2 Segunda fase

Una vez conseguido lo indicado en la primera fase, se empezó a utilizar la máquina, pero sin todavía tener en cuenta la Visión por computador.

En primer lugar se crearon los agentes ABeckoff y AInductivo, y lo único que se buscaba era que detectara el cambio correcto al pasar de 0 a 1 y viceversa.

Al iniciarse el programa, directamente desde ABeckoff se activaban los rodillos y AInductivo mostraba por pantalla el valor de éste sensor, pero solo al cambiar de valor.

2.5.3 Tercera fase

En esta fase se desarrollaron los agentes ACarril y AInterfaz, y se mejoraron los agentes ABeckoff y AInductivo.

Al iniciarse el programa, se inician todos los agentes, ABeckoff manda la información necesaria a AInductivo y a ACarril para que estén preparados, y aparece en pantalla AInterfaz. Se coloca la secuencia a la que se quiere que funcionen las válvulas del carril deseado y se envían los valores. Una vez enviados los valores se presiona el botón activar rodillos. Al presionarse este botón, se envía el mensaje "ON" a ABeckoff y empiezan a funcionar tanto AInductivo como ACarril.

Anteriormente se ha explicado cómo funcionan los agentes AInductivo y ACarril. AInductivo cada vez que detecte un cambio en el sensor y este sea igual a 1, le enviara un mensaje a ACarril. En cuanto reciba este mensaje ACarril, seguirá el procedimiento antes explicado, pero en vez de enviar un mensaje a AVision para conocer el tipo de aceituna que es, este mensaje será enviado a AInterfaz, el cual le devolverá los valores de las aceitunas colocados. El proceso será cíclico hasta que se diga de parar los rodillos o cerrar el programa de Netbeans.

2.5.4 Fase final

Al principio de esta fase no se utiliza la salida de aire de las válvulas para agilizar el progreso. Aquí ya se desarrolla AVision y AProcess los cuales funcionan cuando es llamado por el agente ACarril.

El agente AInterfaz ya solo sirve para activar o desactivar los rodillos y la cinta, debido a que la información del tipo de aceituna que es, la obtiene de AProcess.

Para realizar esta fase, es necesario un entrenamiento previo de la máquina que será explicado en el apartado de resultados.

Al comprobar que funcionaba correctamente, y que detectaba el tipo de aceituna que es en cada foto realizada por la cámara se activó la salida de aire.

Uno de los puntos más importantes de este programa es conocer el tamaño del vector que se tiene que crear, ya que indica cuando se tiene que activar cada válvula en ACarril.

3 RESULTADOS

En este punto se va a exponer una serie de pruebas realizadas con la máquina para ver su correcto funcionamiento y la tasa de éxito a la hora de extraer la aceituna utilizando un carril. Se empezará explicando el entrenamiento previo antes de realizar las pruebas, y después 4 casos, utilizando diferentes tipos de aceituna.

3.1 Preparación de la prueba

Es interesante conocer que la máquina en la cual se ha estado trabajando se considera una máquina flexible, es decir, que gracias al machine learning, realizando una serie de pautas, se pueden clasificar todo tipo de aceitunas en función de las necesidades del usuario.

Para ello, antes de iniciar la prueba, será necesario realizar un previo entrenamiento del procesamiento de la imagen. Se utilizarán 3 softwares que facilitarán el modelo utilizado en AProcess para la detección de la aceituna.

3.1.1 Calibration

Esta herramienta se utiliza para conocer las coordenadas X e Y de la imagen por donde va a aparecer la aceituna. Estas coordenadas serán utilizadas en la herramienta learning para que solo se utilice una parte de la imagen a la hora de realizar el proceso.

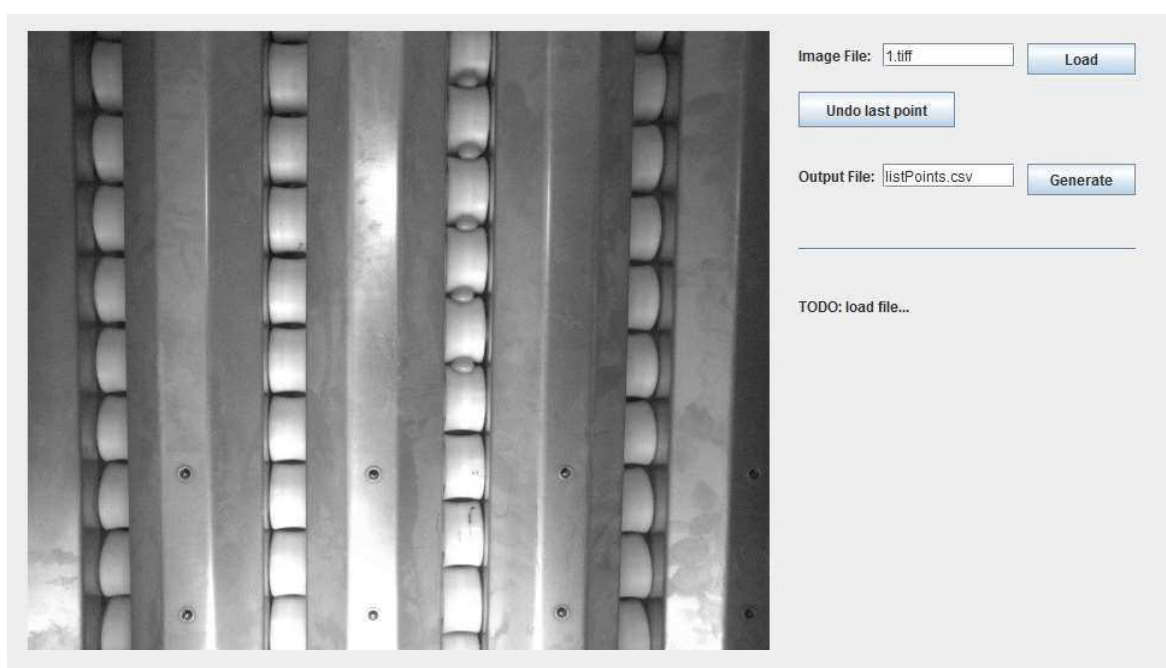


Figura 3.1. Interfaz Calibration

En la Figura 3.1 se muestra la interfaz utilizada para realizar la toma de datos. Para ello con “Load” cargamos la imagen deseada. Seleccionamos en la propia imagen los puntos que queremos utilizar para obtener el modelo, como se muestra en la Figura 3.2.



Figura 3.2. Interfaz Calibration 2

Una vez seleccionamos el punto, se genera un archivo csv, en el cual se guardarán las coordenadas X e Y de la imagen mostrada.

En las pruebas que se explicaran posteriormente, se han cogido los puntos de la misma posición, pero de imágenes diferentes, para tener así más información de dónde se realiza el procesamiento de la imagen.

3.1.2 Learning

Una vez que se tienen los puntos de estudio, se procede a obtener el modelo de las imágenes de las cuales se ha cogido la información. Por lo tanto, para crear el modelo, será necesario que se encuentren en la misma carpeta del ordenador tanto las imágenes como los archivos csv creados.

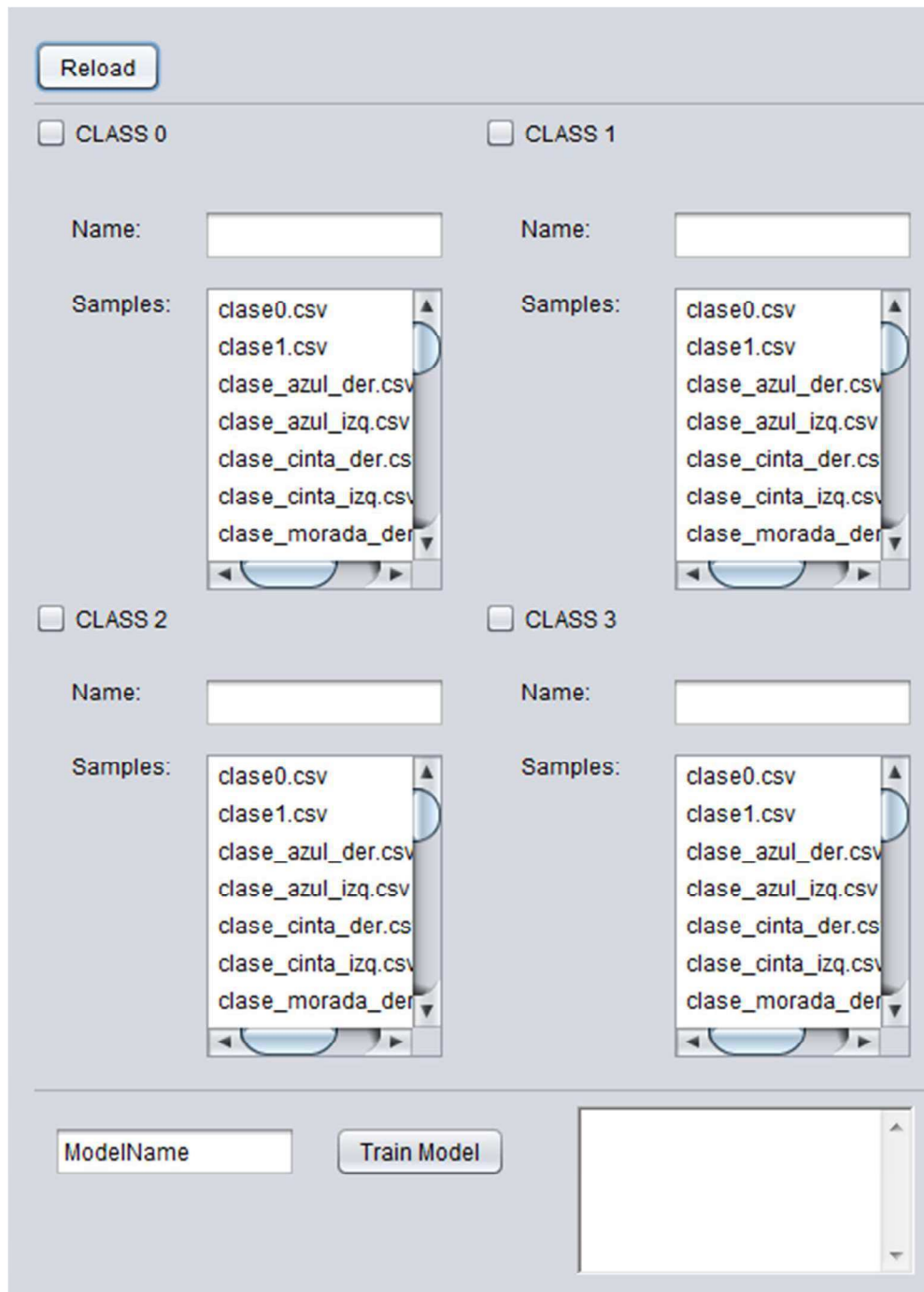


Figura 3.3. Interfaz learning

En esta herramienta se utiliza el software weka para realizar todo el procesamiento de la imagen. En la Figura 3.3 se muestra la interfaz creada para esta herramienta. Como se puede apreciar, se pueden definir hasta 4 clases de aceitunas, poniéndole como nombre el color que tiene cada una y seleccionando el archivo csv en el que se encuentran los puntos. Cada vez que se clique en cada clase, gracias a las coordenadas X e Y, se tendrá en cuenta solo un rectángulo

para realizar el procesamiento de la imagen. Una vez que se tiene ese rectángulo, se realiza la media de las 3 matrices RGB por separado para así conocer la intensidad de cada color en ese tipo de aceituna. En el caso de las pruebas realizadas se han recogido 4 puntos para cada situación. Una vez seleccionado todo como se muestra en la Figura 3.4 se procede al entrenamiento del modelo.

The interface is titled 'learning2' and features a 'Reload' button at the top left. It is divided into four sections, each representing a class:

- CLASS 0:** Name: Nada. Samples: pm4.csv, pn1.csv, pn2.csv, pn3.csv, pn4.csv, PuntoAzul.csv, PuntoMorado.csv.
- CLASS 1:** Name: Verde. Samples: puntos_cinta_der.c, puntos_cinta_izq.c, PuntoVerde.csv, pv1.csv, pv2.csv, pv3.csv, pv4.csv.
- CLASS 2:** Name: Azul. Samples: pa1.csv, pa2.csv, pa3.csv, pa4.csv, pm1.csv, pm2.csv, pm3.csv.
- CLASS 3:** Name: Morado. Samples: pa3.csv, pa4.csv, pm1.csv, pm2.csv, pm3.csv, pm4.csv, pn1.csv.

At the bottom, there is a 'ModelClasifica' button, a 'Train Model' button, and a text area displaying a 4x4 matrix of values:

```

4.0 0.0 0.0 0.0
0.0 4.0 0.0 0.0
0.0 0.0 4.0 0.0
0.0 0.0 0.0 4.0
  
```

Figura 3.4. Interfaz learning2

Este entrenamiento nos indicará si no hay errores a la hora de la selección del modelo, es decir, si no se colapsa la información. Se empieza creando una clase

para manejar un conjunto ordenado de instancias ponderadas. Después se crea un clasificador Bayesiano, que trata de un clasificador probabilístico fundamentado en el teorema de Bayes, el cual expresa la probabilidad de que se dé un evento A sabiendo que ha ocurrido un evento B.

$$P[C_i|D] = (P[D|C_i] \times P[C_i]) / P[D]$$

Ecuación 3.1. Ecuación del clasificador de Bayes

Donde C_i es la clase y D es un documento.

Una vez que se crea el clasificador, se utiliza la clase “Evaluation”, que evalúa modelos de aprendizaje automáticamente. Después con el clasificador y las instancias se utiliza `crossValidateModel`, que realiza una validación cruzada para un clasificador en un conjunto de instancias. Si en esta validación cruzada el resultado aparece como en la Figura 3.5, nos indica que el modelo es correcto, y va a poder realizar una buena selección del tipo de aceituna.



Figura 3.5. Entrenamiento modelo

3.1.3 Classifying

Esta herramienta realiza el mismo procedimiento que realiza `AProcess` explicado anteriormente, con la salvedad que muestra en una interfaz gráfica como van pasando las imágenes y detectando si realiza bien o no la selección de la aceituna.

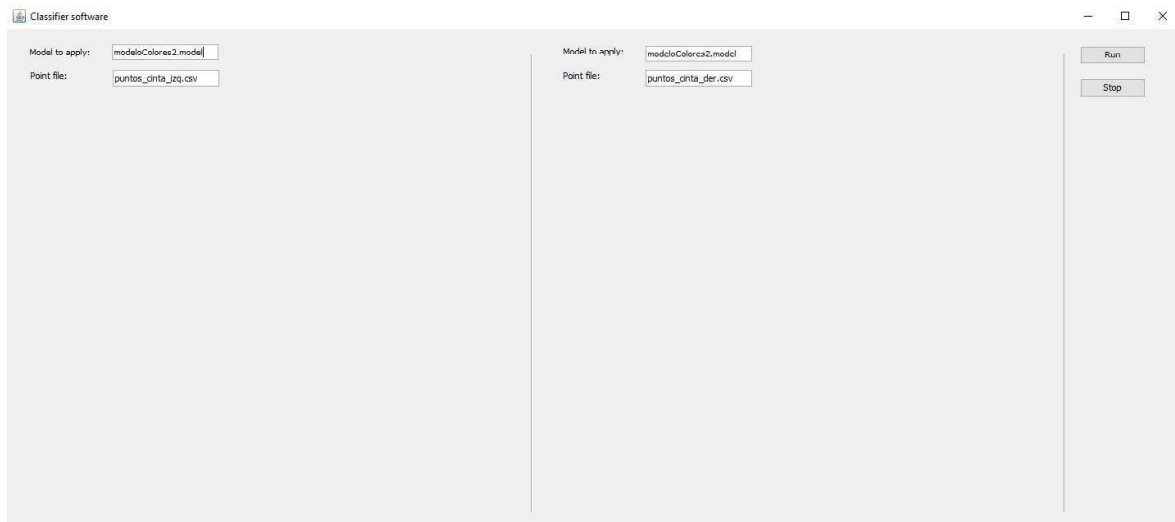


Figura 3.6. Interfaz Classifying

La interfaz se muestra en la Figura 3.6, y como se puede observar, se tiene que indicar el modelo entrenado anteriormente y la lista de puntos a utilizar. Una vez que se selecciona se presiona el botón “Run” y empieza a clasificar. En la Figura 3.7, se muestra la imagen en RGB y la zona donde se va a realizar el procesamiento de la imagen. De manera que, de forma computacional, todo lo que esta fuera del rectángulo no será procesado, por lo tanto, la velocidad del programa será mucho mayor.

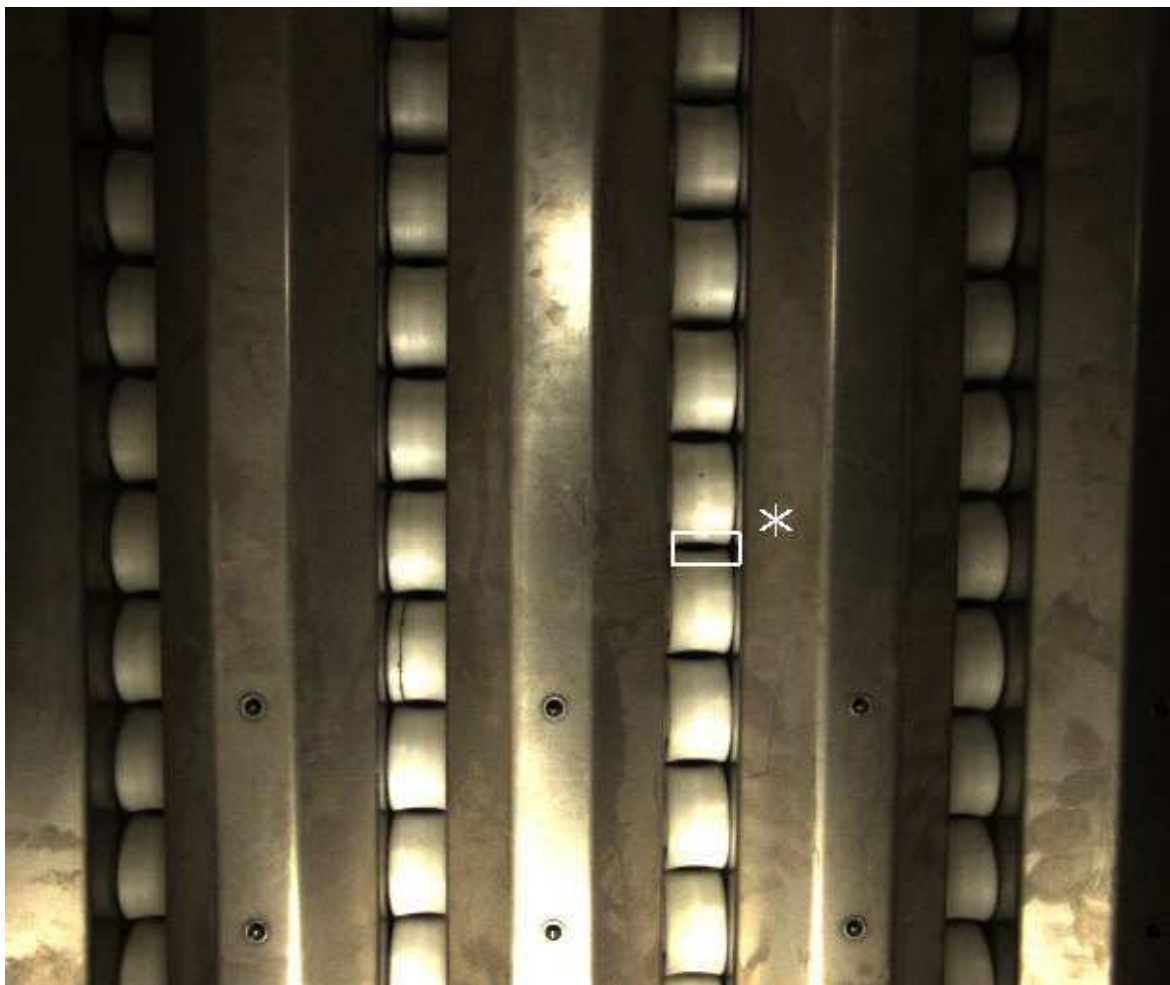


Figura 3.7. Sin presencia de aceituna

En la Figura 3.8, se puede ver como cada vez que pasa un tipo de aceituna de un color específico, el recuadro y el asterisco se muestran del color de la aceituna, para así ver si el modelo funciona correctamente.

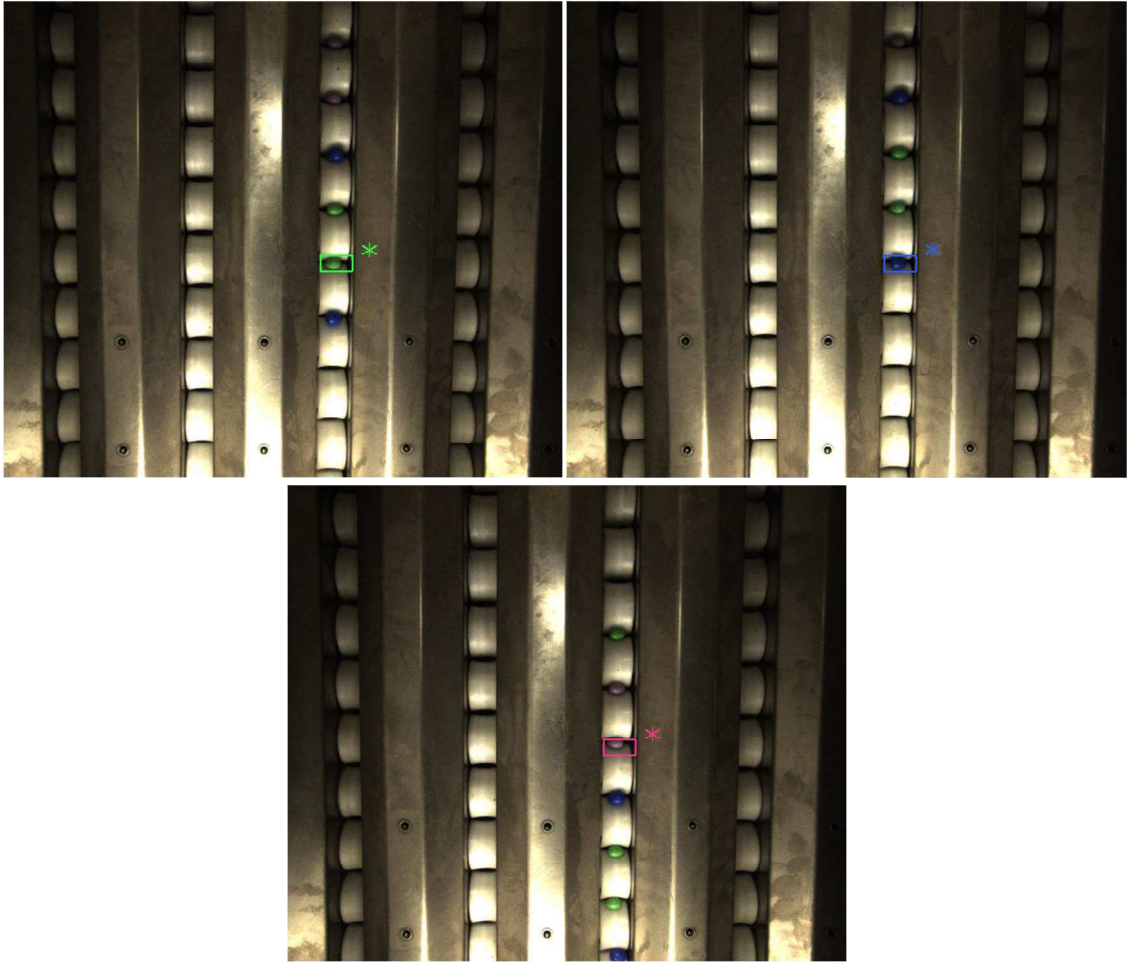


Figura 3.8. Detección de aceituna verde, azul y morada

3.2 Pruebas realizadas

Para ver el correcto funcionamiento, se han hecho diferentes pruebas en función del color de la aceituna, de la colocación de la aceituna y se ha ido observando la tasa de éxito a la hora de seleccionarla. Hay que mencionar que todas estas pruebas se han realizado a un 20% de la velocidad máxima de la máquina.

3.2.1 Prueba con aceitunas azules

Para realizar las pruebas, se han necesitado aceitunas de plástico, de las cuales se han utilizado cuarenta unidades.

Hay dos formas de reconocer el éxito de la prueba, una viendo la interfaz del programa en NetBeans que te muestra por pantalla si detecta la aceituna, y que tipo es. La otra forma de ver el éxito de la prueba, y como se han realizado, es simplemente viendo si expulsa la aceituna en el lugar indicado. En la Figura 3.9 se indica por donde tiene que salir cada aceituna para que sea correcto.



Figura 3.9. Salida de la aceituna

Así que, a la vista de ésta prueba todas las aceitunas tienen que salir por la salida central.

Con la prueba realizada, y el uso de 40 aceitunas los resultados obtenidos han sido los siguientes:

- 40 aceitunas utilizadas
- 38 detectadas y expulsadas por la salida correcta
- 1 aceituna detectada como morada, y saliendo por la tercera salida
- 1 aceituna no detectada

Es decir, un 95% de éxito para este tipo de prueba. El fallo de las 2 aceitunas puede ser debido a que la aceituna tenga un color intermedio entre el color azul y morado entrenado en la fase previa.

3.2.2 Prueba con aceitunas verdes

En esta prueba se obtuvo un 100% de éxito, ya que el verde es muy diferente al color azul y morado, por lo tanto, es difícil que no detecte correctamente este color, por lo que no hay confusión.

3.2.3 Prueba con aceitunas moradas

Para la prueba de aceitunas moradas, de nuevo se utilizaron 40 aceitunas. Esta prueba fue la que más fallos de éxito dio, obteniendo lo siguiente:

- 40 aceitunas utilizadas
- 35 aceitunas bien procesadas y expulsadas
- 2 aceitunas detectada y expulsada como azul
- 3 aceitunas no detectadas

Un 87.5 % de éxito, que aun así sigue siendo un valor bastante elevado.

3.2.4 Prueba con aceitunas de diferente color

La última prueba realizada se utilizaron 50 aceitunas de diferente color y colocadas aleatoriamente como se aprecia en la Figura 3.10.



Figura 3.10. Prueba con aceitunas de diferente color

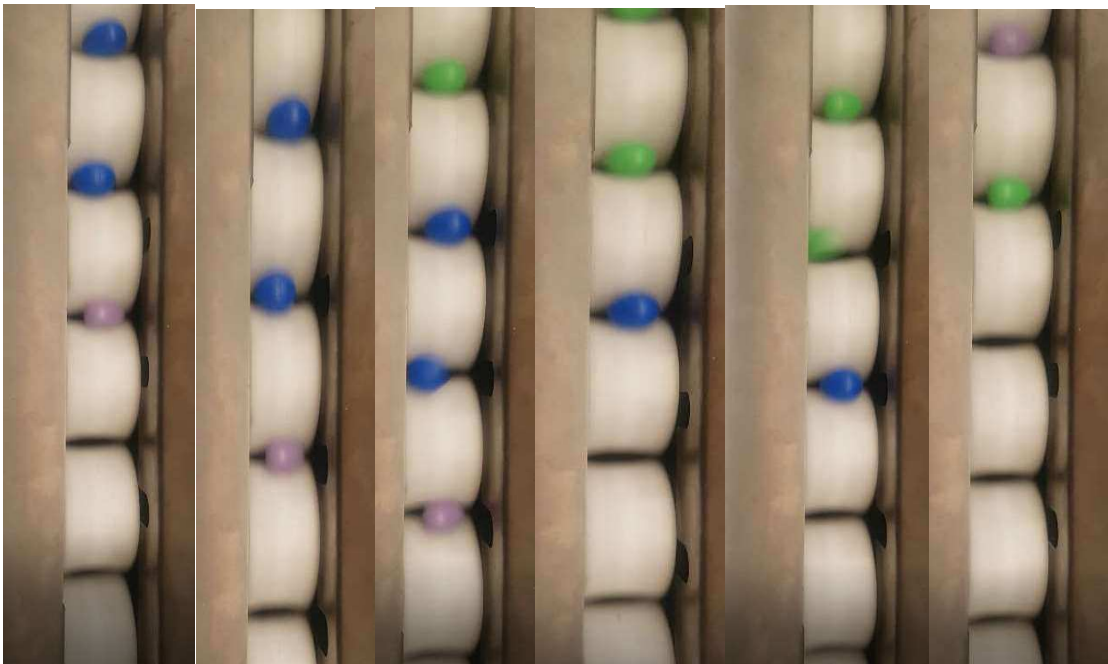


Figura 3.11. Secuencia de video clasificación de aceitunas

En la Figura 3.11 se puede apreciar capturas de pantalla de una secuencia de video realizada en ésta prueba, y como van “desapareciendo” las aceitunas conforme avanzan en la cadena de rodillos.

El porcentaje total de éxito en esta prueba fue de un 88%, al ser bien seleccionadas 44 aceitunas, no detectadas 2 y detectadas erróneamente 4 de ellas.

A la vista de los resultados, se puede ver que hay un elevado porcentaje de éxito en las pruebas realizadas.

4 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

4.1 Conclusiones

Como conclusiones se puede comentar que el programa desarrollado cumple con los requisitos propuestos al principio de este proyecto. Se ha conseguido realizar la comunicación correcta entre la máquina, tarjeta Beckhoff y el usuario, consiguiendo que se realice la clasificación de la aceituna en función del color y que ésta sea expulsada de la máquina en la posición correspondiente.

También se han adquirido todos los conocimientos necesarios de los diferentes softwares utilizados para el correcto funcionamiento de la máquina.

Como se ha podido observar en las pruebas realizadas, cumple altamente las expectativas, teniendo un alto grado de éxito y pudiéndose cambiar la función del software las veces que se requieran para realizar diferentes tipos de clasificación de aceituna.

4.2 Trabajos futuros

En primer lugar, hay que mencionar que es la primera vez que se empieza a sincronizar todos los componentes de la máquina, por lo tanto, aún habría mucho trabajo por recorrer. Algunos de los aspectos que se pueden tener como mejoría son los siguientes:

- En cuanto a la máquina, realizar la sincronización completa de todos los carriles utilizándolos todos a la vez. Solamente habría que replicar los agentes ACarril y AInductivo tantas veces como carriles haya.
- Mejorar o cambiar las válvulas utilizadas para expulsar el aire, ya que realizando diferentes pruebas se han detectados que algunas de ellas se quedaban abiertas sin que tuvieran que hacerlo, dificultando así las pruebas realizadas.
- En cuanto a la parte de procesamiento y toma de imágenes, la cámara utilizada nos ofrece muy buenos resultados, pero en esta primera versión solo se han realizado pruebas con aceitunas de plástico y de diferente color. La máquina está diseñada para que se puedan utilizar 2 cámaras RGB y 2 cámaras infrarrojos. Por tanto, una propuesta futura sería la mejora de todo este apartado utilizando aceitunas reales y con las cámaras de infrarrojos detectar posibles picaduras o malformaciones de la aceituna a la hora de seleccionarla o no.

- Una línea paralela a este proyecto, y la cual también se podría realizar con ésta máquina es la clasificación de uvas. Solamente sería necesario entrenar el modelo como se ha explicado anteriormente. Es decir, se puede seleccionar cualquier tipo de alimento u objeto el cual tenga el tamaño suficiente para que pueda deslizarse por los carriles de la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

<http://www.esenciadeolivo.es/aceite-de-oliva/produccion/>
<https://www.aceitesdeolivadeespana.com/espana-lideres-mundiales>
<http://www.esenciadeolivo.es/aceite-de-oliva/aceite-de-oliva-en-espana/>
<http://www.multiscan.eu/productos/multiscan-v20-evo2/>
<https://www.ehu.eus/documents/3444171/4484752/79.pdf>
http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh199/72_73.pdf
http://oa.upm.es/51323/1/INVE_MEM_2018_280092.pdf
<https://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Clasificadora-de-aceitunas-de-mesa-Multiscan-i5-Olives-STD-132052.html>
<https://haciendaguzman.com/proceso-produccion-aceite>
<http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/dpactl/lecturas/Separata%20procesamiento%20de%20la%>
https://energypedia.info/images/9/95/Maquinaria_para_Olivo.pdf20aceituna.pdf
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/18/sensores-y-actuadores/>
https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable
<https://www.beckhoff.es>
<https://www.genbeta.com/desarrollo/netbeans-1>
<https://es.wikipedia.org/wiki/NetBeans>
https://es.wikibooks.org/wiki/Programaci%C3%B3n_en_Java/Caracter%C3%ADsticas_del_lenguaje
<http://informatica.blogs.uoc.edu/2012/04/19/la-vision-por-computador-una-disciplina-en-auge/>
<https://www.infaimon.com/enciclopedia/iluminacion-difusa-tipo-domo/>
<http://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/>
<https://cleverdata.io/que-es-machine-learning-big-data/>
<http://www.komoto.com/SP/products.php?page=product&productID=53&pageTypeID=1>
[https://es.wikipedia.org/wiki/Weka_\(aprendizaje_autom%C3%A1tico\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Weka_(aprendizaje_autom%C3%A1tico))
<https://pmoracho.github.io/blog/2017/01/20/Clasificador-Bayesiano/>
<http://weka.sourceforge.net/doc.dev/weka/classifiers/>
<https://www.cognex.com/es-ar/what-is/machine-vision/components/lighting>