

ANEXO VIII

INFORME RESUMEN JUSTIFICATIVO- FICHA RESUMEN.

Justificación octubre 2022.

Tipo de informe (marcar el que proceda):

Anual, proyecto en curso (se presentará en la justificación de octubre o en la de junio si se justifica la anualidad entera en este mes)

Final de proyecto (justificación de junio o de octubre, en función de cuando termine el proyecto). Se acompañará de power point de 30 imágenes de las distintas fases con una breve explicación de cada una de ellas.

Nº Código del grupo de cooperación: GCP2019-003400
Nombre del grupo de cooperación: Grupo de Cooperación para el desarrollo de nuevas tecnologías automatizadas para corte del costillar de cordero, aumentando la calidad y seguridad del producto.
Ámbito de actuación (señalar el que corresponda: productividad y sostenibilidad de explotaciones, mejora del regadío o aumento del valor añadido): Productividad y sostenibilidad de las explotaciones
Número de miembros del grupo: Beneficiarios: - Casa de Ganaderos de Zaragoza, S.C.L. - Franco y Navarro S.A. - Ganaderos desde 1218 S.L. Miembros no beneficiarios: - Universidad de Zaragoza
Reseña de reuniones celebradas: 1.- De coordinación del grupo: - Durante el año 2022, se han realizado 3 reuniones de coordinación entre los integrantes del grupo de cooperación, una por cuatrimestre (18 de marzo, 30 de junio y 29 de septiembre). Durante las mismas, se revisa la ejecución de las actividades que se están desarrollando y se toman decisiones respecto a los próximos pasos a dar. 2.- Entre beneficiarios o socios del propio grupo: - Durante el año 2022, se han realizado numerosas reuniones en relación con las actividades 5, 6, 7 y 8 que se están desarrollando en el momento de realización de este informe. Para poder llevar a cabo el diseño y desarrollo de las nuevas tecnologías de corte, está siendo preciso tomar numerosas imágenes de costillares de cordero para lo que se utilizan las salas de despiece de los socios del proyecto y el prototipo que se está desarrollando en el proyecto. 3.- Miembros del grupo con entidades externas: - De momento no se han realizado reuniones con entidades externas

Descripción de los trabajos realizados por el grupo y cronograma (resumen): - De acuerdo con el cronograma previsto en el proyecto, hasta el momento de justificación de la anualidad de 2022 (10 de octubre), se han comenzado los trabajos relativos a las actividades 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

Actividad 1. Estudio del estado del arte sobre nuevas tecnologías de corte en el sector agroalimentario

La Actividad 1 tenía previsto su inicio en septiembre de 2019 y su fecha de finalización prevista era diciembre del mismo año. A día de hoy, el grado de avance de la misma es del 100%, está finalizada y no se produjeron desviaciones temporales en su desarrollo, respetándose las fechas de comienzo y finalización previstas inicialmente.

Se han estudiado los diferentes sistemas existentes de corte de productos agroalimentarios mediante cuchillas o sierras. Estos sistemas si bien cumplen la función de corte no son capaces de realizar cortes que no sean rectos, por lo que no pueden ser utilizados para cortar costillas de cordero al precisar estas un corte curvo.

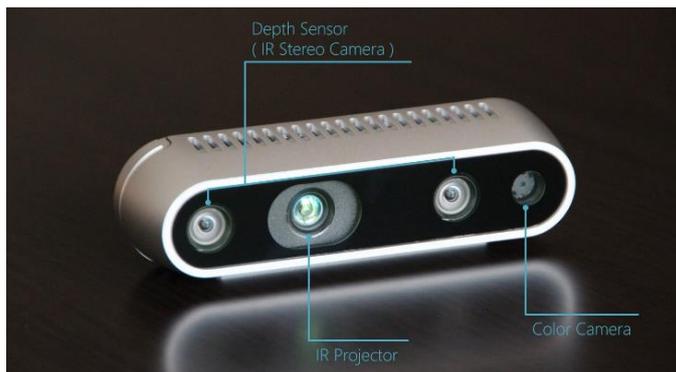
Se han analizado otros sistemas de corte utilizados en la industria mecánica y que pudieran pasar a ser utilizadas en la industria agroalimentaria. Entre estos sistemas destacan el corte por láser o el corte por chorro de agua. El primero de ellos no resultaría del todo adecuado ya que quemaría la carne, lo cual la convertiría en no agradable para el consumo.

Después de realizar el estudio del estado del arte, se ha llegado a la conclusión de que el corte por chorro de agua podría ser el más adecuado ya que en los últimos años se está utilizando tecnología de corte por chorro de agua para cortar diversos tipos de alimentos, incluidos, pizzas, pasteles, lechuga romana, carnes, pescado congelado, sándwiches, pastas de té, barritas de caramelo, barritas de cereales y todo tipo de alimentos congelados. El corte con agua pura a presiones de hasta 6.200 bares ofrece la máxima ventaja al cortar todo tipo productos alimenticios en un entorno higiénico sin el riesgo de contaminación cruzada presente en los sistemas de corte con cuchillas.

Actividad 2. Estudio del estado de la técnica sobre sistemas de visión artificial.

La Actividad 2 tenía previsto su inicio en noviembre de 2019 y su fecha de finalización prevista era febrero de 2020. A día de hoy, el grado de avance de la misma es del 100%, está finalizada y no se produjeron desviaciones temporales en su desarrollo, respetándose las fechas de comienzo y finalización previstas inicialmente.

Se han revisado diferentes tipos de cámaras que pudieran ser utilizadas para este sistema de reconocimiento de trayectorias. Se han mirado cámaras de rayos X, cámaras 2D y cámaras 3D. Después de numerosas pruebas y teniendo en cuenta cuestiones técnicas y cuestiones económicas se ha elegido la tecnología de cámaras con sensor de profundidad que permiten obtener imágenes 3D. Concretamente se ha seleccionado el modelo: Intel Real Sense D435 que ofrece muy buenas prestaciones a precio muy competitivo (alrededor de 200 €).



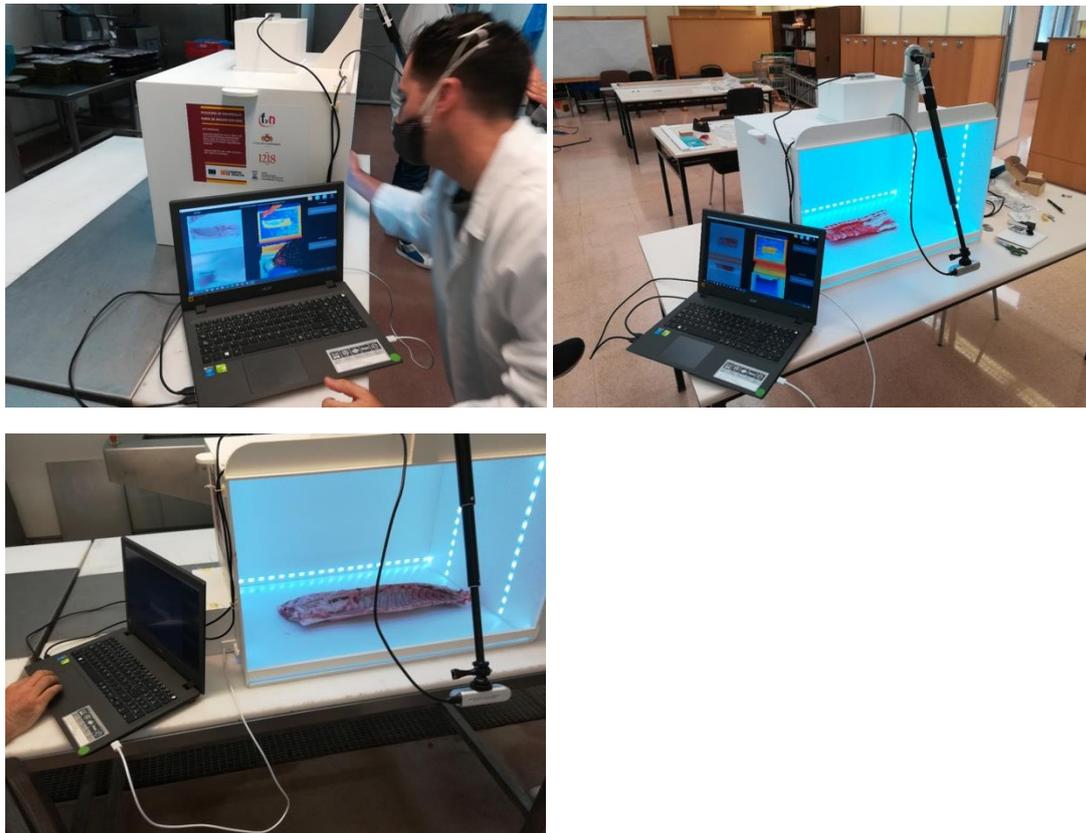
Actividad 3. Especificación de diseño del sistema de corte por visión artificial.

La Actividad 3 tenía previsto su inicio en marzo de 2020 y su fecha de finalización prevista era abril del mismo año. A día de hoy, el grado de avance de la misma es del 100%, está finalizada y no se produjeron desviaciones temporales en su desarrollo, respetándose las fechas de comienzo y finalización previstas inicialmente.

Se han realizado numerosas pruebas para comprobar que características debería tener el sistema que obtuviese las imágenes de los costillares que permitiera que un algoritmo fuera capaz de obtener las trayectorias de corte. Resulta crítico en este sistema la colocación de las cámaras y el sistema de iluminación que permita que no existan sombras que dificulten la visión.

Se ha realizado un prototipo para la toma de las imágenes que posteriormente servirán para poder realizar el algoritmo de cálculo de trayectorias.

El prototipo consta de dos cámaras (una cenital y otra a unos 45º) y una iluminación con tiras led.



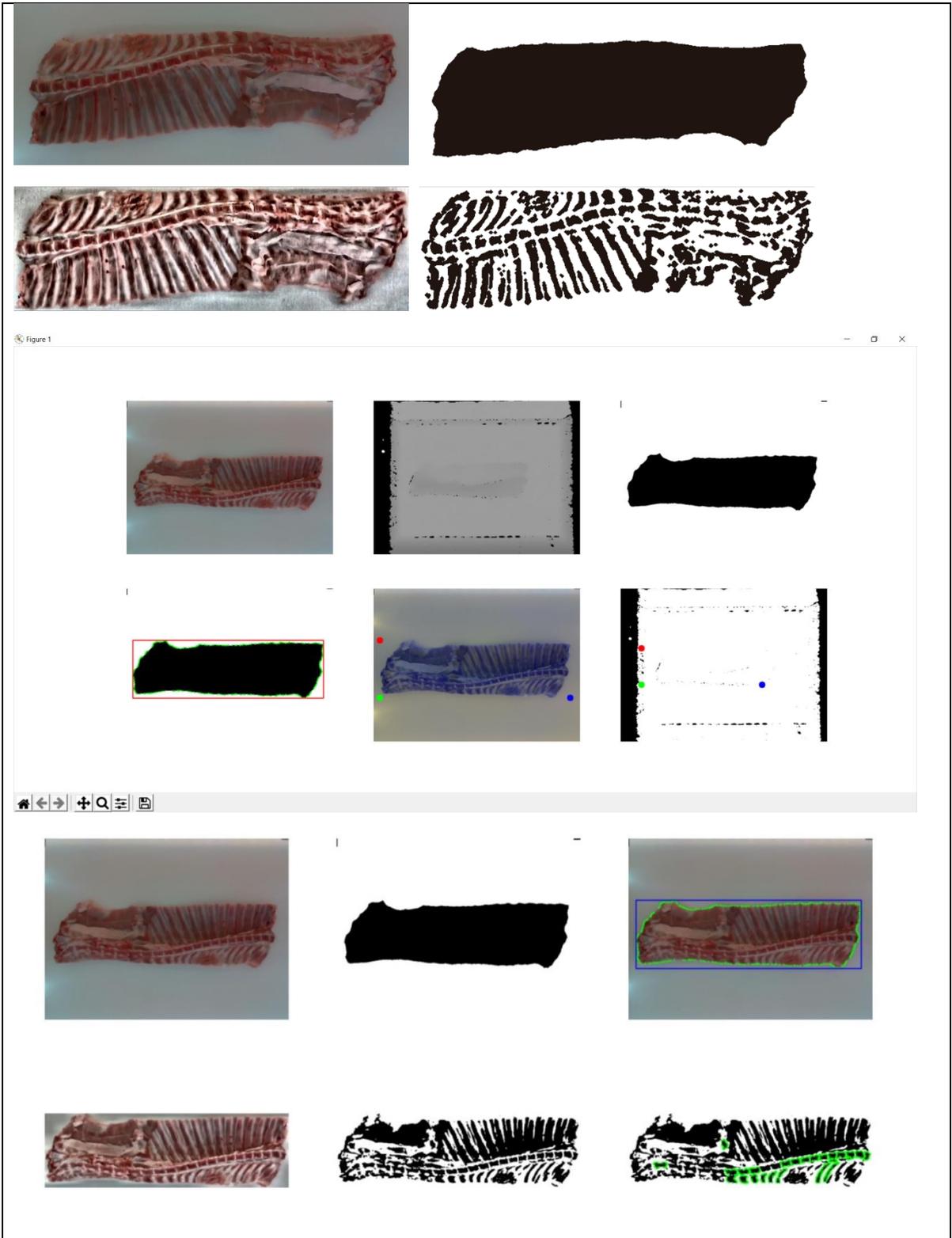
Este sistema está en continua evolución y puede sufrir cambios a lo largo del tiempo.

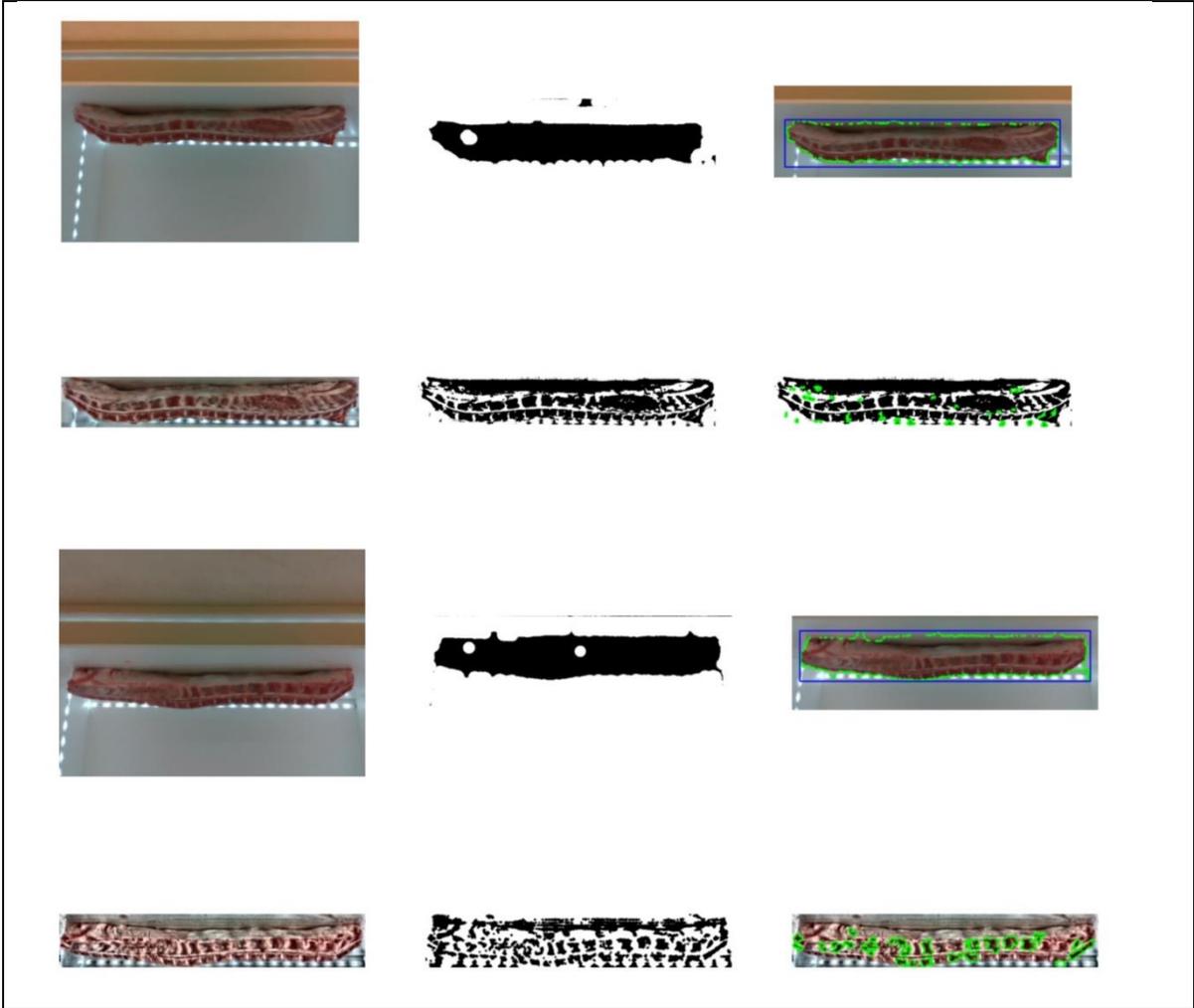
Actividad 4. Diseño y desarrollo del algoritmo para la identificación de trayectorias de corte en el costillar.

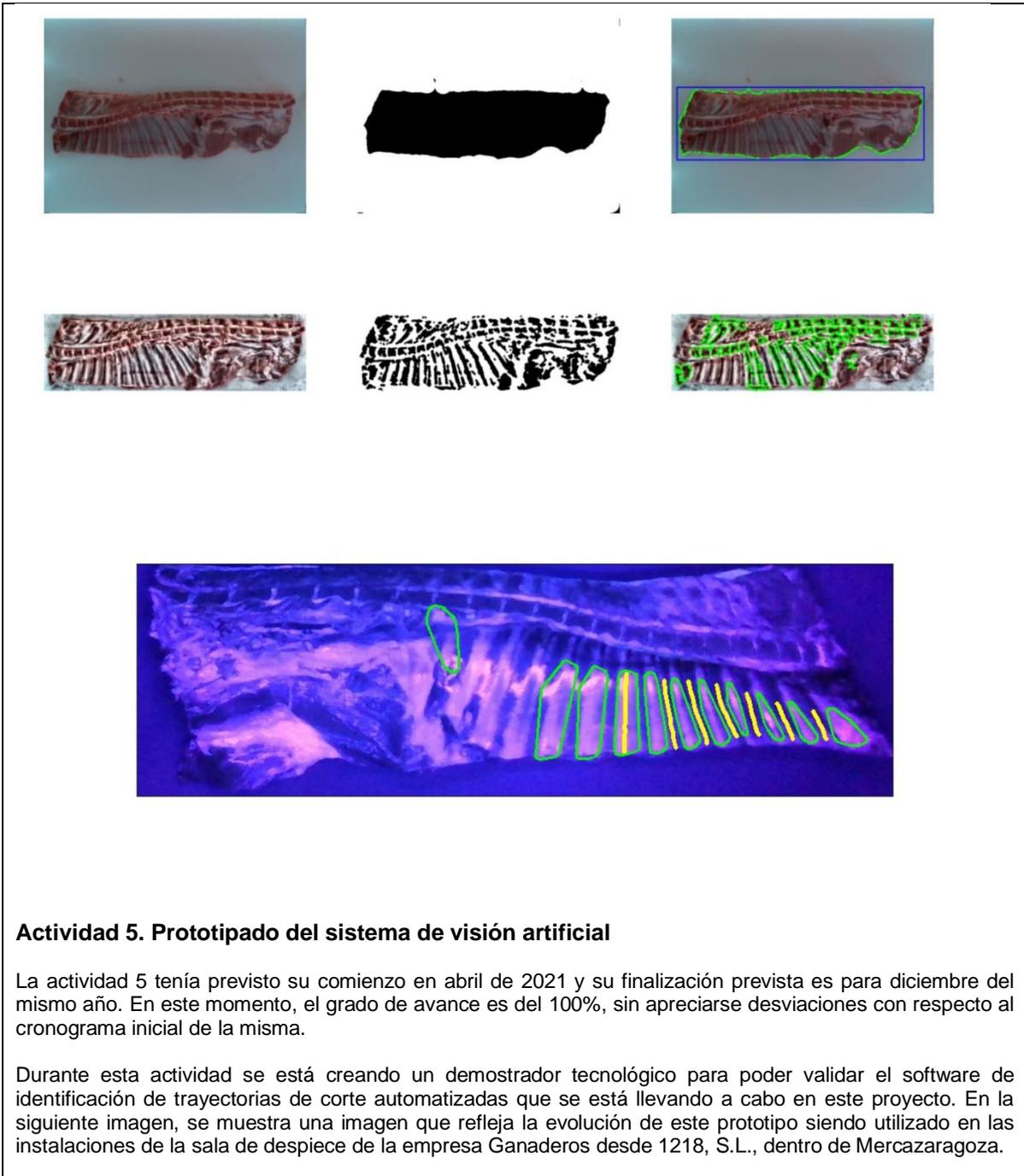
La Actividad 4 tenía previsto su inicio en mayo de 2020 y su fecha de finalización prevista es junio del año 2021. A día de hoy, el grado de avance de la misma es del 100%.

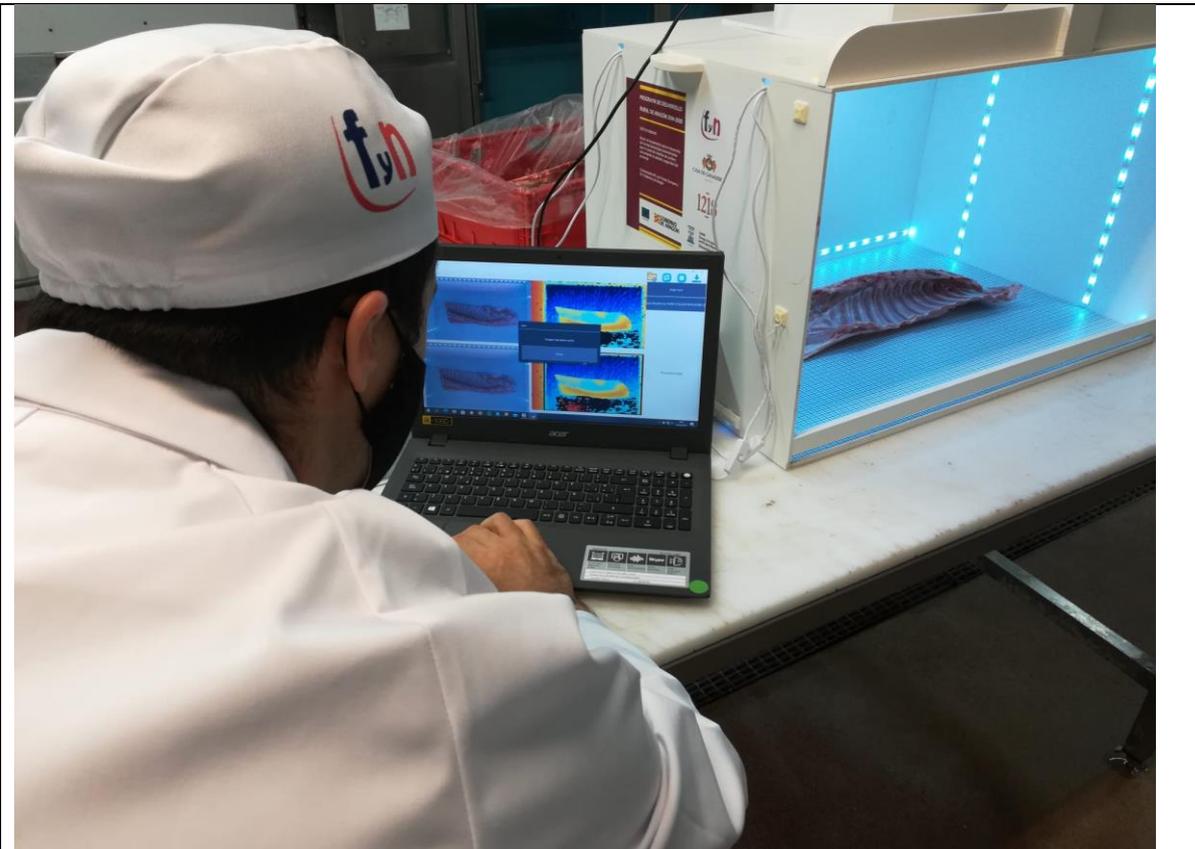
Durante el desarrollo de esta actividad, se han tomado numerosas imágenes de costillares de cordero con ayuda del set y el prototipo que se ha desarrollado en este proyecto. A partir de estas imágenes, se ha trabajado en el algoritmo de identificación que posteriormente será programado en el software que se desarrolla en la Actividad 6 del proyecto.

A continuación se muestran algunas imágenes que permiten poner de manifiesto los trabajos realizados en esta actividad donde se puede apreciar la evolución de las técnicas que se han utilizado para identificar las costillas a partir de las imágenes tomadas por la cámara de visión artificial.



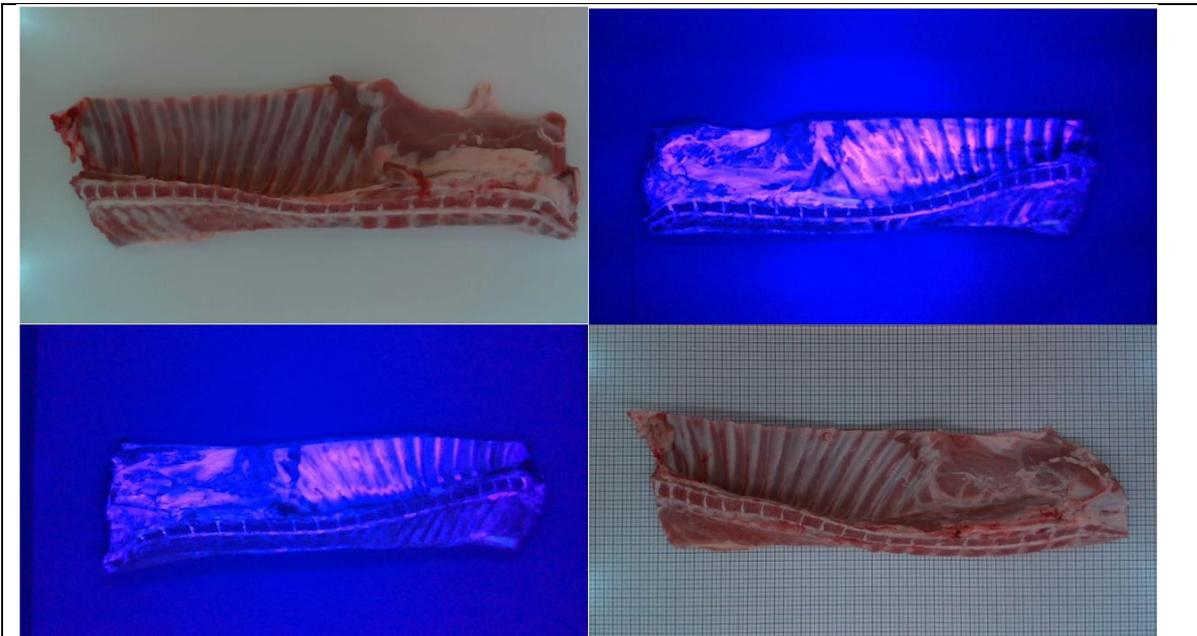






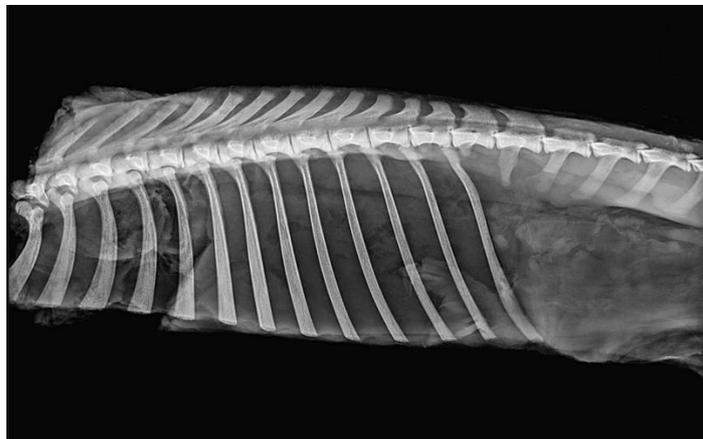
Uno de los aspectos clave de este prototipo es la iluminación de la cabina de corte. Los parámetros de iluminación son esenciales para poder llevar a cabo una correcta identificación del costillar a través de técnicas de visión artificial y, por este motivo, en los últimos meses se está trabajando en mejorar dichos parámetros.

Durante el desarrollo de esta actividad, se han probado diferentes iluminaciones para poder trabajar correctamente en el procesamiento de imágenes. La primera prueba se hizo con luces LEDs alrededor de toda la caja (Figura A). Debido al color de las zonas de relevancia del costillar, huesos y carne, se decidió probar forrando la caja de negro e iluminando el set con luz negra para que resaltase las zonas blancas respecto al resto (Figura B). Después de observar que las condiciones de luz no eran las adecuadas debido al brillo que generaba la luz en los costillares, se instaló un difusor para intentar unificar la luz y eliminar los brillos (Figura C). Por último, se probó el difusor con la luz blanca y se añadió más luz, lo que aumentó considerablemente la calidad de la imagen. Además, se colocó un fondo milimetrado que servirá posteriormente para calcular las trayectorias de las que no se tiene referencia (Figura D).



De izquierda a derecha y de arriba abajo. A- Iluminación LED. B- Luz negra. C- Luz negra con difusor. D- Luz blanca con LED con difusor y con fondo milimetrado

Por último, se han hecho pruebas con tecnología de radiología, algo que facilitará la detección del hueso y por lo tanto hará que las trayectorias puedan ser mucho más limpias y con mucho menos error. Un ejemplo del resultado de una radiografía se puede ver a continuación.



Actividad 6. Diseño de software para el corte del costillar de cordero

La actividad 6 tenía previsto su comienzo en enero de 2022 y su finalización prevista es para julio del año 2022. En este momento, el grado de avance es del 100%, sin apreciarse desviaciones con respecto al cronograma inicial de la misma. A continuación, se describe el funcionamiento y procesos que se están programando en el nuevo software para la identificación de las trayectorias del corte de costillar.

El primer paso en el procesamiento de las imágenes de costillares es limpiar la foto de todo lo que interfiere en el desarrollo de las trayectorias. Para ello se trabaja con la imagen y los datos de profundidad de la cámara (Figura 1) y se separa el costillar del resto de la imagen mediante la selección de colores (profundidad), dejando solo los colores más naranjas y amarillos oscuros y binarizando la imagen (Figura 2).

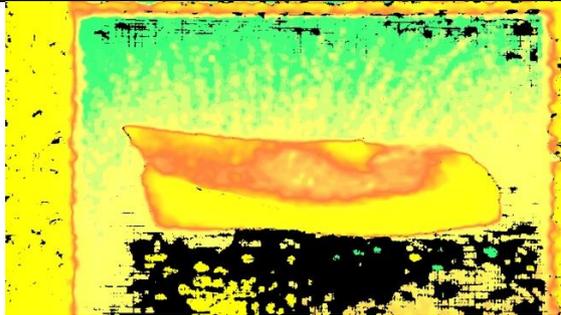


Figura 1. Imagen de profundidad



Figura 2. Binarización de la imagen

Una vez separado del resto de elementos, se filtra la imagen eliminando las partes que están tocando con el borde (Figura 3) y de los objetos pequeños (Figura 4). Con ello, se obtiene el "bounding box", o caja, que contiene el costillar para poder trabajar más cómodamente (Figura 5).

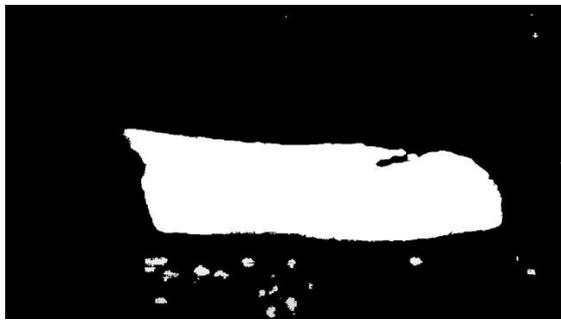


Figura 3. Eliminación de bordes

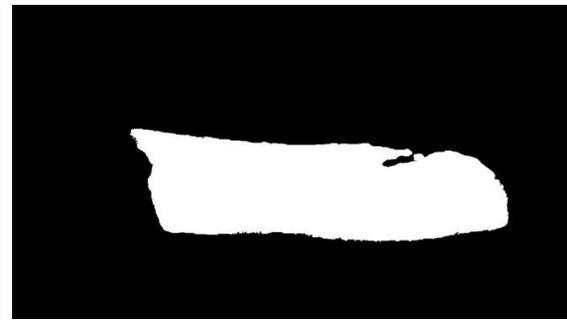


Figura 4. Eliminación de objetos pequeños



Figura 5. Recorte de la imagen original

Una vez recortada la imagen al tamaño necesario para que el entorno no interfiera con el resto del procesamiento, el siguiente paso es detectar las diferentes formas del costillar. Para ello hay que resaltar las zonas blancas (grasa y hueso) de las zonas rojas (carne). Esto se realiza mediante un método de modificación del histograma, "Clahe" (Figura 6).

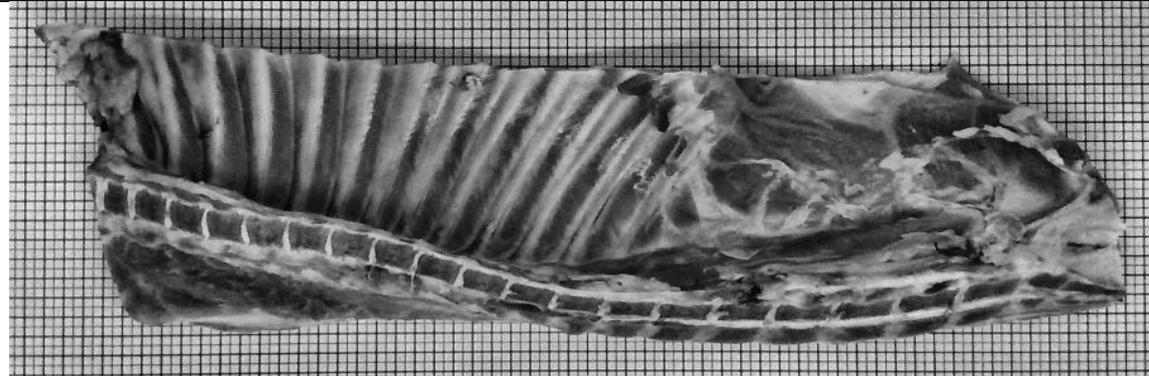


Figura 6. Filtro "Clahe"

A partir de aquí comienza el proceso de binarización y limpieza de la imagen. El primer paso es una binarización mediante el método "Otsu" de binarización dinámica. (Figura 7). Se eliminan los objetos pequeños que generan ruido y dificultan la detección y erosionan los contornos (Figura 8). Se vuelven a eliminar los contornos aun más pequeños para intentar reducir posibles salientes relacionados con los brillos de la luz, y se dilata el mismo número de píxeles que se erosionaron anteriormente (Figura 9).



Figura 7. Binarización Otsu



Figura 8. Eliminación de objetos pequeños y erosión



Figura 9. Eliminación de objetos pequeños y dilatación

Por último, mediante una relación de aspecto entre altura y anchura de los contornos detectados, se diferencia entre costilla y el resto del costillar (Figura 10), seleccionando las costillas para la posterior identificación de las trayectorias (Figura 11).

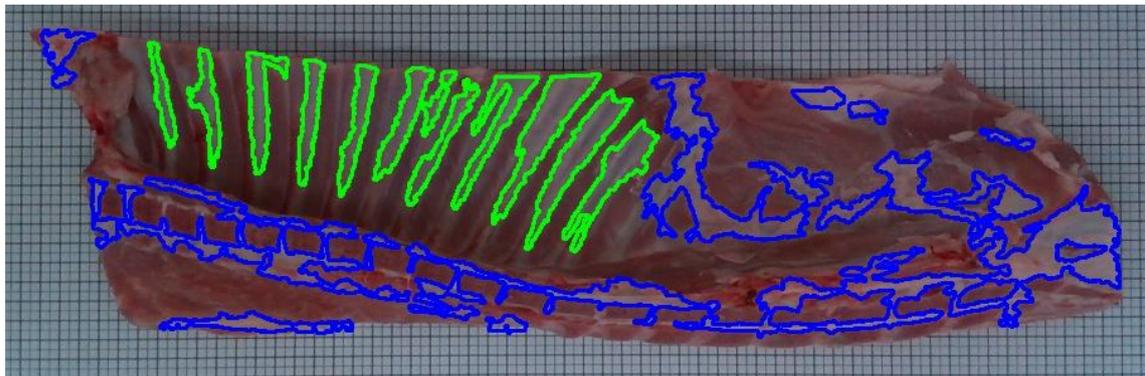


Figura 10. Identificación de partes del costillar

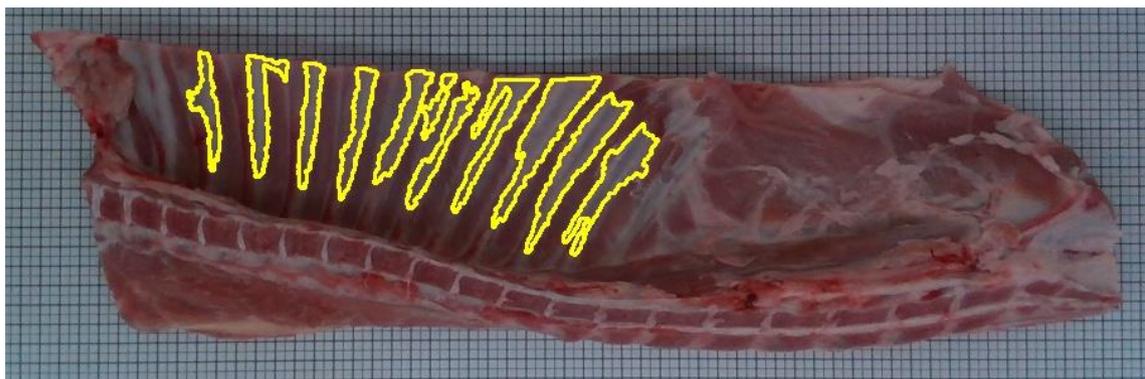


Figura 11. Detección de costillas

El último paso, es obtener la trayectoria, para ello se detectan los bordes izquierdo y derecho de cada costilla, y comparando la distancia del derecho de una costilla con el borde izquierdo de la siguiente se realiza una línea con los puntos medios obtenidos. Esa línea es el comienzo de la trayectoria (Figura 12).

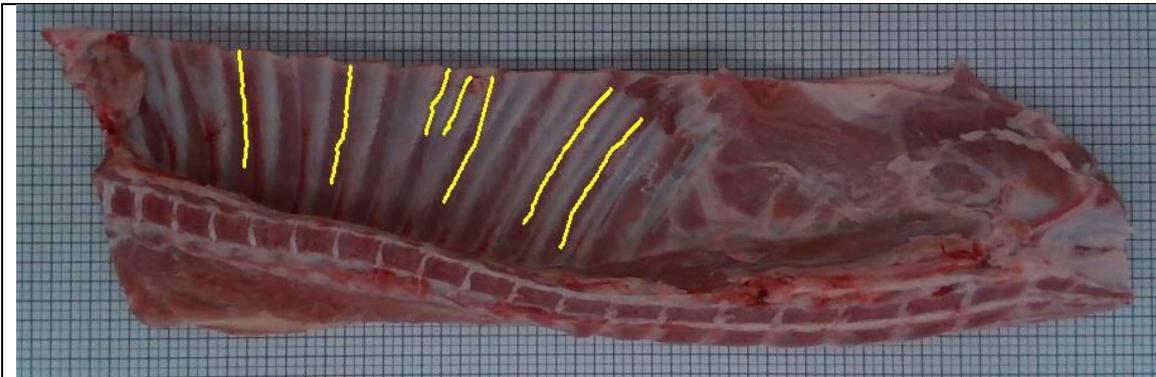


Figura 12. Líneas de corte

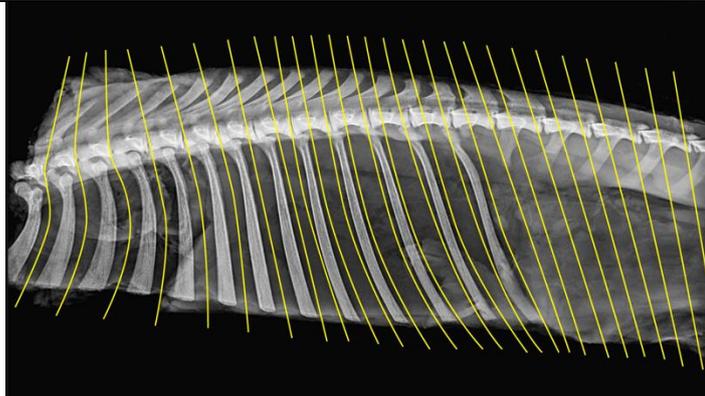
A continuación, se muestran capturas del código fuente del software que se ha desarrollado para este proyecto.

```

1 import numpy as np
2 import cv2
3 import math
4
5 from skimage import morphology
6
7 from scipy import ndimage as ndi
8 from skimage.util import img_as_float
9 from skimage.filters import gabor_kernel
10
11 import matplotlib.pyplot as plt
12 from skimage.morphology import closing, disk, opening
13
14 class Processor():
15
16     def __init__(self, rgb_image, depth_image, original_image, border = 20):
17         self.rgb_image = rgb_image
18         self.depth_image = depth_image
19         self.border = border
20         self.original_image = original_image
21
22     def detect_depth(self):
23         #red_depth = self.depth_image[:, :, 2]
24
25         #Mascara de los colores azulos
26         img_hsv=cv2.cvtColor(self.depth_image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
27         plt.imshow(self.depth_image, cmap='gray')
28         plt.show()
29
30         cv2.imwrite("/Users/Enrique/Desktop/Justificacion/Profundidad.jpg",img_hsv)
31
32         lower_blue = np.array([0, 50, 50])
33         upper_blue = np.array([180, 255, 255])
34         mask0 = cv2.inRange(img_hsv, lower_blue, upper_blue)
35
36         lower_blue = np.array([170, 50, 50])
37         upper_blue = np.array([250, 255, 255])
38         mask1 = cv2.inRange(img_hsv, lower_blue, upper_blue)
39
40         blue = mask0&mask1
41         cv2.imwrite("/Users/Enrique/Desktop/Justificacion/mascara_profundidad.jpg",blue)
42
43         #gray = cv2.cvtColor(red, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
44         clahe = cv2.createCLAHE(clipLimit=5.0, tileGridSize=(6,6))
45         c1 = clahe.apply(blue)
46
47         ret2,otsu = cv2.threshold(c1,0,255,cv2.THRESH_BINARY+cv2.THRESH_OTSU)
48
49         kernel = np.ones((1,1),np.uint8)
50         opener = cv2.morphologyEx(otsu, cv2.MORPH_OPEN, kernel)
51         #self.depth_image_bb = self.depth_image.copy()
52
53         #Eliminar superficies tocando los bordes
54
55         ret, markers = cv2.connectedComponents(opener.astype(np.uint8) * 255)
56         markers = markers + 1
57         markers[markers == 0] = 0 # background is region 0
58
59         etiquetas_borde_superior = np.unique(markers[0, :])
60         etiquetas_borde_inferior = np.unique(markers[-1, :])
61         etiquetas_borde_izquierdo = np.unique(markers[:, 0])
62         etiquetas_borde_derecho = np.unique(markers[:, -1])
63         etiquetas_bordes = np.unique(np.concatenate([etiquetas_borde_superior,
64                                                     etiquetas_borde_inferior,
65                                                     etiquetas_borde_izquierdo,
66                                                     etiquetas_borde_derecho]))
67
285 def nearest_contours(self, contours, dist1, dist2):
286     self.original_2 = self.cvt_color_shape_bb_original.copy()
287     nearest = []
288     for i in range(0, len(contours)-1):
289         leftmost, rightmost, toptost, bottomost = self.get_extreme(contours[i])
290
291         distances = []
292         nearest = None
293         for i in range(0, len(contours)):
294             leftmost_1, rightmost_1, _ = self.get_extreme(contours[i])
295             distance_extreme = math.sqrt(((leftmost[i]-rightmost_1[i])**2) + ((leftmost_1[-1]-rightmost_1[-1])**2))
296             distance_extreme = math.sqrt(((rightmost[i]-leftmost_1[i])**2) + ((leftmost_1[-1]-rightmost_1[-1])**2))
297             distance_extreme = min(distance_extreme, distance_extreme)
298             distances.append(distance_extreme)
299
300         #Only if distance is not too big
301         distances.sort()
302         if distances[0] != None and distances[1] != None:
303             #cv2.drawContours(self.original_2, [contours[i]], -1, (0,255,0), -1)
304             #plt.imshow(self.cvt_color_shape_bb_original_2)
305             #plt.show()
306             nearest.append(contours[i])
307
308         cv2.drawContours(self.original_2, nearest, -1, (0,255,255), 2)
309         cv2.imwrite("/Users/Enrique/Desktop/Justificacion/Recorte_chop_3.jpg",self.original_2)
310         plt.imshow(self.cvt_color_shape_bb_original_2)
311
312     return nearest
313
314 def lines_contours(self, contours, other = False):
315     self.original_3 = self.cvt_color_shape_bb_original.copy()
316     nearest = []
317     for i in range(0, len(contours)-1):
318         leftmost, rightmost, toptost, bottomost = self.get_extreme(contours[i])
319         max_distance = 500
320         selected_contours = []
321         nearest = None
322         for i in range(0, len(contours)):
323             leftmost_1, toptost_1, _ = self.get_extreme(contours[i])
324             others = None
325             distance_extreme = math.sqrt(((leftmost[i]-rightmost_1[i])**2) + ((leftmost_1[-1]-rightmost_1[-1])**2))
326             distance_extreme = math.sqrt(((toptost[i]-toptost_1[i])**2) + ((leftmost_1[-1]-rightmost_1[-1])**2))
327             min_distance = min(distance_extreme, distance_extreme)
328             selected_contours = []
329
330         mask = np.zeros(self.final_binary_shape, np.uint8)
331         cv2.drawContours(mask, [contours[i]], 0, 255, -1)
332         mask_1 = np.zeros(self.final_binary_shape, np.uint8)
333         cv2.drawContours(mask_1, [contours[selected_contours]], 0, 255, -1)
334         mask = cv2.add(mask, mask_1)
335

```

En el caso de que finalmente se utilice la fotografía por rayos x, los primeros pasos del procesamiento no serían necesarios, por lo que este proceso sería más rápido. Se ha preparado el código para los dos posibles escenarios, en los que se parte de una fotografía 3d con imagen de profundidad o directamente con rayos x. El resultado final para este último escenario sería el siguiente.



Actividad 7. Pruebas de validación

La actividad 7 tenía previsto su comienzo en enero de 2022 y su finalización prevista es para julio del año 2022. En este momento, el grado de avance es del 100%, sin apreciarse desviaciones con respecto al cronograma inicial de la misma.

Durante estos últimos meses se han realizado pruebas de validación con costillares con diferentes tipologías de forma y tamaño para comprobar que el sistema diseñado y programado cumplía adecuadamente las especificaciones previstas.

Actividad 8. Estudio de implementación del nuevo sistema en máquinas de corte comerciales

La actividad 8 tenía previsto su comienzo en abril de 2022 y su finalización prevista es para septiembre del año 2022. En este momento, el grado de avance es del 100%, sin apreciarse desviaciones con respecto al cronograma inicial de la misma.

Se ha estudiado que sistema de corte sería el más adecuado para implementar el algoritmo diseñado. Como ya se ha dicho, el más eficiente desde el punto de vista del producto, sería el corte por chorro de agua, con algún abrasivo natural que permita el corte limpio de los huesos de las vértebras. Para la implementación del sistema, la máquina que vaya a realizar el corte debería tener una estación previa donde se realice la foto y se calculen las trayectorias. Esto debe de realizarse sobre la misma superficie donde luego se realice el corte, ya que es necesario mantener un punto de referencia entre la imagen original y las coordenadas de la máquina de corte.

Por lo tanto, el corte final de la pieza debería realizarse en dos fases (cálculo de trayectorias y corte), ya sean en la misma estación o en estaciones diferentes.

Objetivos alcanzados (si no se han alcanzado los objetivos esperados, indicarlo):

Hasta la fecha, se están cumpliendo todos los objetivos establecidos al comienzo del proyecto:

- Se ha decidido inicialmente la tecnología de corte mediante chorro de agua. Asimismo, se está investigando en la utilización de abrasivos naturales como la sal para facilitar el corte por chorro de agua en la zona del hueso para mejorar la precisión y prestaciones del corte.
- Se ha materializado un prototipo para validar la tecnología automatizada para identificar las trayectorias de corte que está siendo ya utilizado en la sala de despiece de los socios beneficiarios del proyecto para poder probar los desarrollos alcanzados en este proyecto.
- Se ha finalizado la tarea para el diseño y desarrollo del algoritmo de cálculo de trayectorias con unos resultados muy satisfactorios en términos de identificación de las diferentes zonas del costillar y trazado de trayectorias.
- Se ha finalizado la programación del software de cálculo de trayectorias de manera automática.
- Se ha realizado pruebas de validación del software.

Descripción de los potenciales beneficiarios de los objetivos alcanzados (p.e.: regantes, ganaderos de ovino, industrias conserveras...):

- Las comercializadoras de ovino serían las principales beneficiarias de este proyecto, ya que podrían suministrar costillas de cordero a las grandes superficies a un precio competitivo, pero cortadas de forma similar a como lo hace un carnicero.
- Los ganaderos de ovino también se verían beneficiados ya que al resultar las costillas de cordero un producto más apetecible para el mercado, las ventas de corderos se verían incrementadas.

Conclusiones del proyecto (éxito o fracaso del proyecto y motivos, si es aplicable en el sector al que va dirigido, si debe tener continuidad, etc.):

- El proyecto ha sido un éxito. Partiendo de dos tipos de imágenes (3D y radiografía) se ha desarrollado un software capaz de trazar las trayectorias para que una máquina de corte, todavía por determinar, aunque lo más probable es que sea de corte por chorro de agua, sea capaz de realizar los cortes marcados por dichas trayectorias.

Indicar los medios de divulgación de los resultados obtenidos (publicaciones, manual de buenas prácticas, recomendaciones, folletos divulgativos, página web u otros):

- Se ha realizado actividades de difusión de los resultados, que se ven reflejadas en las noticias que han salido en diferentes medios de comunicación.

<https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2021/11/30/tecnologia-corte-costillar-cordero-perfecto-casa-ganaderos-aragon-1536749.html>

<https://diariodelcampo.com/casa-de-ganaderos-coordina-el-desarrollo-de-una-tecnologia-que-permita-el-corte-automatico-del-costillar-de-cordero/>

<https://www.interempresas.net/Industria-Carnica/Articulos/372992-sector-ovino-aragones-desarrolla-tecnologia-corte-automatico-costillar-cordero.html>

<https://rfeagas.es/proyecto-corte-automatico-costillar-cordero/>

<https://anafric.es/el-ovino-aragones-desarrolla-el-corte-automatico-del-costillar-de-cordero/>

En Zaragoza, a 11 de octubre de 2022.

Fdo (el coordinador del grupo de cooperación): D. Miguel Zoco Herrero