

TAREA 1 - PRINCIPIOS DE IMAGEN DIGITAL

Carlos E. Jara Vásquez, Christopher J. Morales Acosta
carlosjaravas@estudiantec.cr christophermorales@estudiantec.cr
Área académica de Ingeniería Mecatrónica
Tecnológico de Costa Rica

Resumen

En esta tarea se determina de forma experimental la distancia focal de la cámara trasera de un celular Samsung Galaxy A50, utilizando las ecuaciones de la aproximación paraxial de una cámara [1]. Para determinar la distancia focal se utiliza un trípode y una imagen con Frames guía. El método utilizado consiste en capturar múltiples imágenes de cada Frame y a distancias de trabajo distintas, medir el tamaño de cada Frame y con esos datos calcular el valor de la distancia focal. Asimismo, se debe desarrollar una aplicación en *python* que tome una imagen y la distancia de trabajo como entradas, y retorne la medida del ancho del objeto, utilizando la distancia focal obtenida en el punto anterior [1]. En la aplicación se aplica un filtro de Sobel a la imagen y se binariza la imagen resultante. Luego se determina la distancia entre píxeles y se traduce al ancho real del objeto. Se comprueba el correcto funcionamiento de la aplicación con 3 objetos diferentes capturados a distancias de trabajo diferentes. Los resultados se obtienen con un porcentaje de error menor a 5 %.

Palabras clave

Visión artificial, Aproximación paraxial, Filtro Sobel, Distancia focal, Metrología

I. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

I-A. Cálculo de distancia focal efectiva

En el mercado de cámaras para teléfonos celulares es común encontrar especificaciones de la cámara como el tamaño del sensor y su distancia focal, sin embargo al intentar corroborar la aproximación paraxial y la relación de aumento real/proyectada [2], se presenta una inconsistencia en las mediciones de distancia focal [1]. Por esta razón, es necesario realizar un procedimiento que permita obtener una distancia focal "efectiva" que permita realizar mediciones fiables posteriormente, así como determinar la precisión de este instrumento.

I-B. Medición de ancho de objetos mediante VA

Una aplicación muy útil de la visión artificial (VA) es la medición de objetos, específicamente para este caso, la medida del ancho de diferentes objetos. Se desea poder obtener el ancho de un objeto, de color uniforme y sobre un fondo regular, en milímetros, utilizando únicamente la imagen y la distancia de trabajo. Por lo tanto se debe desarrollar una aplicación en el lenguaje de programación python, que sea capaz de realizar el preprocesado y procesado de la imagen obtenida y la distancia de trabajo para dar como resultado el ancho del objeto.

II. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

II-A. Cálculo de distancia focal efectiva

Para encontrar una distancia focal se utilizará la aproximación paraxial y la relación de aumento real/proyectada [2]. Esta relación permite despejar una distancia focal (DF) a partir de la distancia de trabajo (WD), el campo de visión (CV) y el tamaño del sensor (SS), de la siguiente forma:

$$DF = \frac{WD \cdot SS}{CV} \quad (1)$$

Cabe resaltar de que la Ec. 1 a veces considera un factor de corrección "c", pero en esta solución se omitirá pues el objetivo es conseguir una distancia "efectiva" que sea práctica a la hora de realizar mediciones, a pesar de que la distancia focal física sea distinta. Además cuando se habla de campo de visión se toma una dimensión de la imagen capturada como el ancho, alto o diagonal [3], pero en esta solución se utilizará el ancho pues el enfoque de esta tarea es realizar una medición adecuada de ancho de objetos.

Ahora bien, el procedimiento para calcular consistirá en la obtención de datos de WD para diversos valores de CV con la cámara de teléfono de un modelo SAMSUNG Galaxy A50. Este teléfono tiene una cámara principal trasera con un sensor de 4.2x3.2mm [4], por lo tanto se utilizará una medida de SS de 4.2mm.

II-A1. Toma de datos: Para realizar una toma de datos ordenada y adecuada, se generó una imagen con "frames guía" para mejorar el posicionamiento de la cámara durante las capturas.

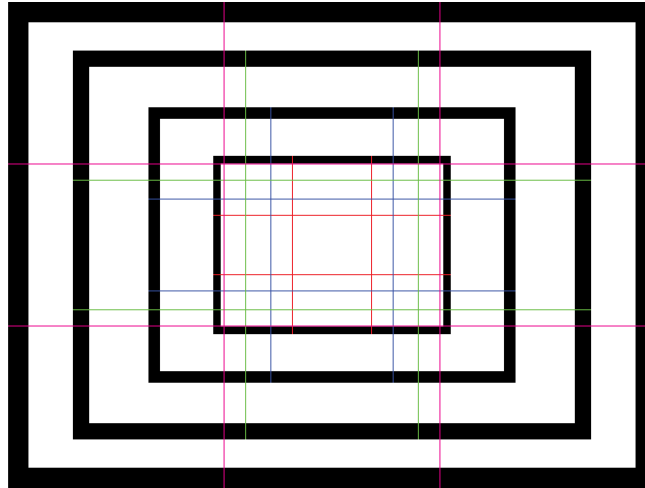


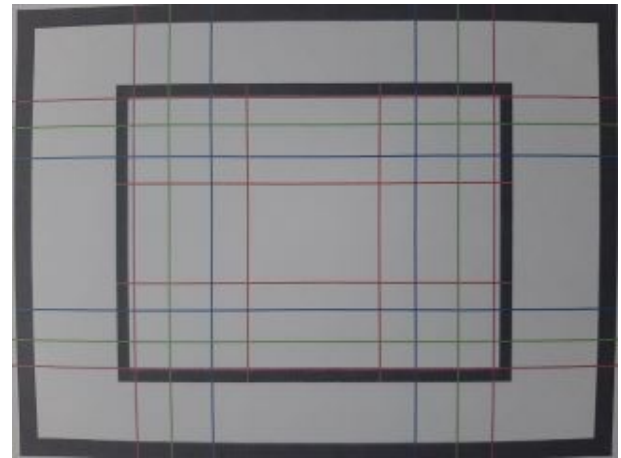
Figura 1: Frames guía.

Esta imagen (Fig. 1) generada con la herramienta Adobe Illustrator, tiene 4 rectángulos con distintas medidas de ancho externo (como se verá a continuación), además cuenta con un grosor proporcional al ancho, una relación de aspecto de 4:3 y líneas guía de colores para que estas sean ajustadas con las "grid lines" que proporciona el software la cámara para seguir la regla de los tercios en fotografía [5].

Con respecto a la configuración de la cámara, se utilizó el modo PRO (o modo manual), de forma que se desactivan las opciones de auto-escalado de fotografía, así como el ajuste automático de brillo y contraste y filtros. Además, se utilizó un trípode de fotografía para mantener la cámara lo más firme posible de forma horizontal y de forma perpendicular al suelo (con un nivel de burbuja). Las capturas se tomaron con luz artificial de habitación en horas de la tarde (baja luz natural) el montaje se aprecia mejor con la Fig. 2a.



(a) Montaje de escena para toma de datos.



(b) Fotografía de uno de los frames guía.

Figura 2: Proceso de captura y toma de datos utilizando los frames guía.

El procedimiento básico es ajustar la distancia de trabajo de forma que los bordes anchos de los frames queden lo más cerca de los bordes laterales de la imagen como se aprecia en la Fig. 2b, apuntar la distancia de trabajo y capturar una imagen. El proceso se repite 3 veces para cada uno de los 4 rectángulos o frames.

II-A2. Medición indirecta de la distancia focal.: Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro I: Toma de datos para el cálculo de DF "efectiva".

Frame	WD ($\pm 0,5$)mm	CV ($\pm 0,1$)mm
1	70	88
1	70	88
1	70	88
2	108	135
2	108	135
2	108	135
3	148	191
3	148	191
3	148	191
4	188	239
4	188	239
4	188	239

Al tomar los datos del Cuadro I, el valor de SS de 4.2mm [4] y la Ec. 1, se obtuvo una distancia focal efectiva DF de $(3,31 \pm 0,04)$ mm. Esta distancia se tomará de ahora en adelante para realizar cálculo de distancias. Cabe resaltar que este valor obtenido sólo tendrá confiabilidad para valores de WD entre 70mm y 188mm, pues la medida estadística solo utilizó valores dentro de ese rango. Además, el valor tendrá validez sólo con la cámara orientada de forma horizontal (proporción ancho 4 y alto 3).

II-B. Medición de ancho de objetos mediante VA

II-B1. Captura de Imágenes: Como se mencionó en la descripción del problema, se desea desarrollar una aplicación capaz de recibir únicamente una imagen y la distancia de trabajo a la que se capturó la imagen. En la imagen se debe de apreciar un objeto de color uniforme y en un fondo regular, de forma que dicha imagen junto con la distancia de trabajo permitan determinar el ancho de dicho objeto mediante una aplicación desarrollada en python.

Lo primero que se debe de considerar es la captura de las imágenes de los objetos de prueba. Se debe analizar la iluminación y montaje de la cámara principalmente, debido a que son las variables mas controlables en el ambiente de trabajo. Para el montaje de la cámara se utiliza un trípode con la cámara fijada de forma que permita mantenerla de la forma mas paralela posible a la superficie de trabajo. La superficie de trabajo es una mesa sencilla, cubierta de hojas blancas para conseguir el mayor contraste posible y un fondo regular, y liso. Dicho montaje se aprecia en la imagen de la Fig. 3.



Figura 3: Montaje de cámara y superficie de trabajo.

Ahora bien, lo siguiente es analizar la iluminación de las imágenes, en este caso no se cuentan con tantas opciones: iluminación difusa del ambiente, iluminación directa usando un foco extra y el flash de la cámara del celular. Para el análisis de las diferentes opciones de iluminación se deben seleccionar primero los objetos de prueba que se desea medir. Se seleccionan objetos pequeños, de color uniforme y forma sencilla. Estos objetos se presentan en la imagen de la Fig. 4 y son un conjunto de notas adhesivas, un prisma rectangular azul y dos prismas rectangulares verdes, juntos para formar una figura diferente.

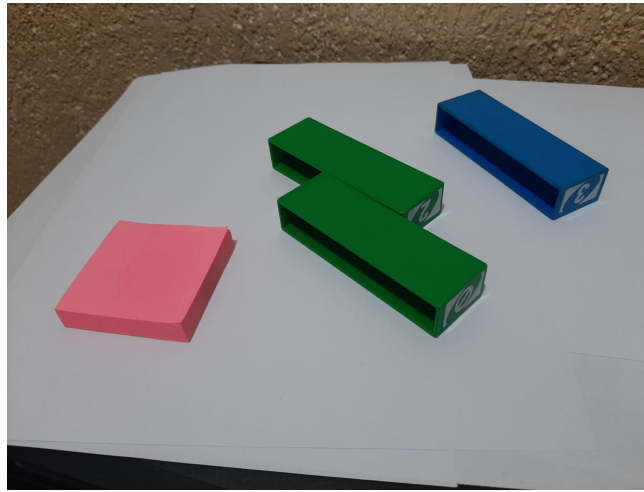
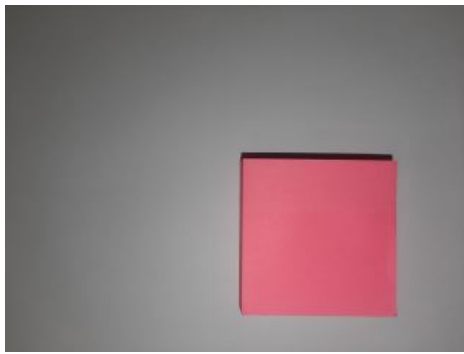


Figura 4: Objetos de prueba para medición.

Las opciones de iluminación se consideraron dependiendo del objeto en cuestión, debido a que los objetos que fueron seleccionados eran opacos, se probó con las diferentes opciones para tratar de reducir las sombras. Finalmente se decidió utilizar la iluminación directa para el objeto rosa y el flash de la cámara para los objetos verde y azul. Las imágenes resultantes se muestran en las Figs. 5a, 5b y 5c respectivamente.



(a) Imagen utilizada del objeto rosa.



(b) Imagen utilizada del objeto verde.



(c) Imagen utilizada del objeto azul.

Figura 5: Imágenes utilizadas

Cabe destacar que para nivelar el teléfono y el trípode se utilizaron los sistemas de nivelado que estos incluyen, el uso del giroscopio y un punto de referencia en la interfaz de la cámara para nivelar la cámara, y un nivel de burbuja que incluye el trípode.

II-B2. Preprocesado de las Imágenes: Antes de buscar una forma de conseguir una medición de la imagen requiere de un preprocesado previo, que facilite la obtención de los datos para su análisis. Como se desea determinar el ancho de un objeto de color uniforme y en un fondo regular (blanco en nuestro caso), la imagen se lee en escala de grises, y por la naturaleza del problema se necesita obtener los bordes del objeto para posteriormente obtener la distancia en píxeles entre estos bordes y determinar la distancia real. Lo primero que se debe hacer luego de obtener la imagen en escala de grises es aislar los bordes de la imagen, para esto se aplica un filtro de Sobel utilizando la función `skimage.filters.sobel` que aplica el filtro a la imagen de entrada y retorna una imagen con los bordes en gradientes claros y el relleno en gradientes más oscuros. Se aplica un filtro de Sobel general debido a que transforma la imagen en el formato similar al buscado: donde los bordes se representan por un 1 y el resto de los píxeles en 0; sin embargo, como las distancias requeridas son horizontales (el ancho), se pudo haber aplicado un filtro de Sobel vertical y obtener únicamente los bordes verticales y obtener los resultados deseados. Para obtener una imagen con máximo contraste y en el formato deseado, se binariza, de forma que se obtienen los bordes en blanco y todo lo demás en negro. Como se supone que la aplicación puede encontrar el ancho de cualquier objeto, se utiliza el segmentado mediante el método de Otsu; este método lo que hace es calcular el valor de umbral para la binarización de cada imagen, que busca obtener un valor de umbral que minimice la varianza dentro de la clase, esto se define como la suma de las varianzas del fondo y del primer plano [6].

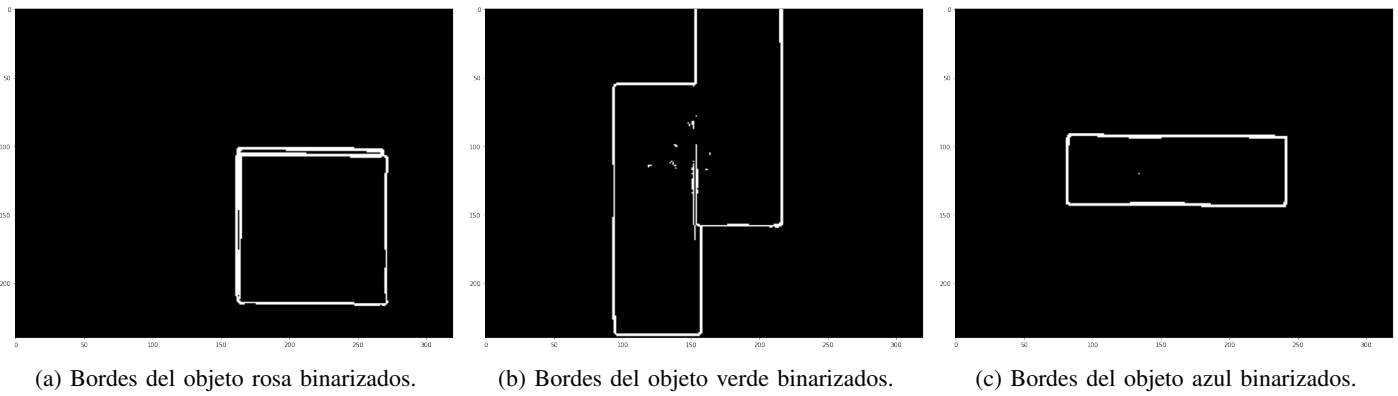


Figura 6: Imágenes utilizadas

En las Fig. 6a, 6b y 6c se obtuvo resultados satisfactorios de la combinación *sobel-binarización*, por lo tanto se tomó la decisión de no realizar ningún preprocesado adicional. En caso de que este proceso no hubiera sido suficiente o que alguna de las condiciones de captura de imagen cambie, se podría realizar un proceso de obtención de análisis de histograma y mejora del contraste mediante *stretching* por ejemplo. Sin embargo, los resultados son adecuados sin estos procesos. Además, los detalles de interés son los bordes de los objetos (píxeles de alta frecuencia) y por la forma en la que realizó el proceso de captura de imagen, estos bordes se aislaron de forma efectiva. Otro aspecto importante es el procesamiento de ruido en las imágenes, sin embargo las Fig. 6a, 6b y 6c demuestran que estos procesos tampoco son necesarios para las condiciones en las que se realizó la captura de imagen. De nuevo, si las condiciones de captura de imagen se ven afectada, si se podría considerar el uso de estos procesos.

II-B3. Obtención del ancho de los objetos: Por otro lado, la medición de objetos mediante VA requiere el conocimiento previo de las características de la cámara, tamaño del sensor y distancia focal, esta última fue determinada previamente y la primera ya se conoce de la hoja de datos del sensor. Otro dato importante es conocer el tamaño en píxeles de la imagen, que en nuestro caso es de 320×240 píxeles, de forma que se pueda calcular la resolución de la imagen. Con estos datos y la relación presentada en la Ec. 1 se pueden realizar los cálculos necesarios. El proceso para el cálculo del ancho es el siguiente. Primero se calcula la resolución horizontal del sensor utilizando la Ec.2 se sabe que el tamaño del sensor es $4,2 \times 3,2$ mm [4].

$$\text{Resolución horizontal del sensor} = \frac{\text{Tamaño horizontal del sensor}}{\text{Tamaño horizontal de la imagen}} = \frac{4,2\text{mm}}{320\text{px}} \quad (2)$$

Además, se necesita conocer el ancho en píxeles del objeto para posteriormente pasarlo a milímetros. Para esto se creó la función *pxl_dist* que se observa en el anexo V-A, que permite obtener la distancia horizontal entre los bordes del objeto, recorriendo la imagen por columnas, de derecha a izquierda hasta encontrar un píxel con un valor de 1, entonces empieza a recorrer de igual forma pero de izquierda a derecha hasta encontrar un píxel con un valor de 1, luego calcula la distancia horizontal entre píxeles y la devuelve. De la distancia en píxeles se puede obtener el ancho en el sensor utilizando la Ec. 3. Se implementa la función *size_obj* en la cual se realizan los cálculos de las Ec.2 y 3, para finalmente aplica la relación de la Ec. 1 para convertir el ancho en el sensor al ancho real del objeto.

$$\text{Ancho en el sensor} = \text{Ancho en píxeles del objeto} \times \text{Resolución horizontal del sensor} \quad (3)$$

El proceso descrito anteriormente se realiza mediante la función *medir_ancho_objeto*, se observa en el anexo V-A, que recibe una tupla que contiene la imagen y la distancia de trabajo a la que se realizó la captura, en ese orden. Utilizando esos datos, la función primero le aplica un filtro de Sobel a la imagen para aislar los bordes, y luego binariza el resultado utilizando la función *binarize*. Asimismo, utiliza las funciones mencionadas en el párrafo anterior, *pxl_dist* y *size_obj*, para realizar todos los cálculos necesarios para determinar el ancho del objeto. La comprobación de el correcto funcionamiento de la aplicación se realizó con las imágenes de la Fig. 5. En la tabla del Cuadro II se muestra la distancia de trabajo utilizada para cada imagen.

Cuadro II: Distancia de trabajo de cada imagen

Imagen	Distancia de trabajo ($\pm 1\text{mm}$)
Rosa	119
Azul	139
Verde	118

Ahora bien, en la tabla del Cuadro III se muestran los resultados obtenidos para cada objeto, el valor real y el porcentaje de error para cada resultado.

Cuadro III: Resultados del proceso de medición del ancho de objetos

Imagen	Ancho medido ($\pm 0,7mm$)	Ancho real ($\pm 0,5mm$)	% Error
Rosa	51,4	52,0	1,17
Azul	89,3	87,0	2,58
Verde	58,5	56,0	4,27

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

III-A. Cálculo de distancia focal efectiva

Durante el proceso de obtención de la distancia focal se presentaron muchos factores que afectan el valor obtenido. En esta sección se analizarán estos factores de forma que se pueda tener una mayor comprensión de las características de este valor obtenido:

III-A1. Limitantes físicas: En primer lugar el montaje se realizó con instrumentos fáciles de conseguir en un ámbito doméstico y no tienen la precisión de un laboratorio de VA. Por ejemplo, el trípode no se mueve con una alta precisión hacia al frente y la única forma que se tiene de asegurar la perpendicularidad del teléfono con el suelo es el nivel de burbuja del trípode; además, el suelo es ligeramente irregular pues es de losas de cerámica. Con respecto a la iluminación de la escena, tampoco era sencillo controlar las variables del ambiente como la cantidad de luz de la habitación, pero sí se procuró mantener una iluminación constante durante todo el experimento y con la menor cantidad de luz natural posible como se aprecia en la Fig. 2a y Fig. 3. Dentro de estas limitantes también se pueden incluir los errores de medición del experimentador como el temblor del pulso, etc.

III-A2. Limitantes de la cámara: El principal aspecto que se notó al realizar la captura de imágenes, es que, para las distancias de CV más cortas, se generó una distorsión de barril en los rectángulos guía, tanto en los bordes horizontales como verticales; este aspecto afectó mucho a la hora de definir en qué momento se realizaba la captura y toma de datos. Sin embargo, a la hora de organizar los resultados obtenidos se notó que este aspecto no afectó mucho la medición de los valores de WD. Esta distorsión de barril se podría corregir con un calibrado de la cámara [7], sin embargo, este proceso resulta difícil en cámaras de teléfono y se decidió tomar la medida más grande (punto medio del borde o mitad del barril) como punto de contacto con los extremos de la imagen.

Todos estos aspectos influyen en que el cálculo de la distancia focal obtenida tenga menor precisión. Sin embargo su valor aún puede ser utilizado para mediciones de distancias de bajos requerimientos de precisión siempre que estén dentro del rango de WD especificado anteriormente en la sección II.

III-B. Medición de ancho de objetos mediante VA

De igual forma se presentan las principales consideraciones que determinan la validez y características de los resultados obtenidos.

III-B1. Captura de Imágenes y Preprocesado: Las Fig. 6a, 6b y 6c evidencian que la combinación *sobel-binarización* permite reducir el número de procesos que se realizan sobre la imagen, sin embargo existen fenómenos que afectan la calidad de la medición del ancho del objeto. Por ejemplo, a pesar de que la forma de iluminación de los objetos permitió que los bordes de los objetos tengan alta frecuencia y que el filtro Sobel los detectara de forma adecuada, no se logró reducir por completo la aparición de "bordes de sombras". Las sombras que se generan (principalmente las que aparezcan en los bordes laterales) afectan la medición del ancho del objeto.

III-B2. Obtención del ancho de los objetos: Efectivamente, las sombras en bordes laterales afectan en la medición del ancho del objeto, esto se demuestra al analizar el caso del objeto verde: en la Fig 5b donde se puede apreciar que existen bordes de sombras y, resulta que la medición de este objeto es la que tiene el mayor porcentaje de error como se aprecia en el Cuadro III con 4.27 % en comparación con los otros dos objetos (1.17 % y 2.58 %) que no tenían (o tenían pocas) sombras laterales.

El cálculo de la distancia focal efectiva aporta incertidumbre a las mediciones, así como las mediciones físicas de la distancia de trabajo y esto se aprecia en el error propagado de $\pm 0,7$ del Cuadro III. Sin embargo, el porcentaje de error obtenido para los tres objetos es menor al 5 %, esto significa que las mediciones obtenidas son confiables hasta un 5 % de error.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La distancia focal obtenida $DF = (3,31 \pm 0,04)$ mm, es una distancia "efectiva", osea que no necesariamente es la distancia física real de la cámara, pero sí es útil de forma práctica. Esta distancia permite calcular distancias horizontales de objetos con un grado medio de precisión. Por lo tanto, no se recomienda al lector implementar esta solución en una aplicación de metrología porque no se obtendrá el nivel de precisión adecuado.

Si se realizan capturas bajo condiciones adecuadas, como una adecuada iluminación, buen posicionamiento y configuración de la cámara, se puede reducir la cantidad de procesos y análisis que se tengan que hacer sobre las imágenes.

Las sombras que se generan por el tipo de iluminación utilizada, afecta negativamente la medición del ancho de los objetos. Por lo tanto, para mejorar este factor se puede optar por un tipo de iluminación que permita eliminar las sombras (como iluminación difusa) o realizar un proceso adicional que permita identificar y eliminar las sombras en caso de que existan.

Cualquier medición del ancho de un objeto que pueda ser fotografiado a una distancia de trabajo entre 70mm y 188mm en las condiciones de iluminación y configuración de la cámara utilizada, tendrá un valor con un porcentaje de error máximo del 5 % de la medida real del objeto

REFERENCIAS

- [1] J. L. Crespo, "Tarea parcial evaluable número 1: Principios de imagen," tech. rep., Tecnológico de Costa Rica, 2022.
- [2] J. Serrano, V. Staff, A. Diaz, A. Calle, and J. Sanchez-Marin, *Vision Por Computador*. Textos docentes, Dykinson, S.L., 2003.
- [3] STEMMER-IMAGING-AG, "Lenssensor - app for optical calculations."
- [4] Camera-FV-5, "Technical camera details of samsung galaxy a50 (camera 2 of 3)."
- [5] K. Plicanic, S. Ingersoll, A. Tan, A. Goellner, C. Davidson, S. Aegesen, and D. Boyd, "La regla de los tercios: qué es y cómo aplicarla."
- [6] Muthukrishnan, "Otsu's method for image thresholding explained and implemented."
- [7] G. Martinsanz, J. de la Cruz García, and A. TOME, *Visión por Computador: Imágenes digitales y aplicaciones*. RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones, 2001.

V. ANEXOS

V-A. Código

V-A1. *Medición del ancho de un objeto con VA*: Código utilizado para determinar el ancho de tres objetos a distintas distancias de trabajo

```

1 #Importar las librerías por utilizar
2 import os
3 from skimage import io
4 from skimage.filters import threshold_otsu,sobel
5
6 #Binarización de las Imagenes
7 def binarize(image,thresh=0):
8     if thresh==0:
9         thresh = threshold_otsu(image)
10    binary = image > thresh
11    return binary
12
13 #Calculo del ancho del objeto en pixeles
14 def dist_pxl(image):
15     v,h = image.shape
16     c1 = 0
17     c2 = 0
18     found = False
19     for col in range(h):
20         for row in range(v):
21             if found == False and image[row][col] == True:
22                 c1 = col
23                 found = True
24                 break
25             if found == True:
26                 break
27     found = False
28     for col in range(1,h):
29         for row in range(0,v):
30             if found == False and image[row][-col] == True:
31                 c2 = h-col
32                 found = True
33                 break
34             if found == True:
35                 break
36     if found == True:
37         return c2-c1+1
38     else:
39         return 0
40
41 #Conversión de distancia en pixeles a distancia real
42 def size_obj(image,work_dist):
43     sensor_size_h = 4.2
44     focal_dist = 3.31
45     pxl_dist = dist_pxl(image)
46     sens_res_h = sensor_size_h/320
47     dist_sens = pxl_dist*sens_res_h
48     width = work_dist*dist_sens/focal_dist
49     return round(width,1)
50
51 #Medicion_ancho_objeto
52 def medir_ancho_objeto(Data):
53     work_dist = Data[1]
54     image = Data[0]
55     img_sobel = sobel(image)
56     img_bin = binarize(img_sobel)
57     width = size_obj(img_bin,work_dist)
58     return width

```

```
59
60 def main():
61     #Obtener la direccion de las imagenes
62     path = os.getcwd()
63     IMG_ROSA= io.imread(path +r'\IMG_ROSA.jpeg',True)
64     IMG_AZUL= io.imread(path +r'\IMG_AZUL.jpeg',True)
65     IMG_VERDE= io.imread(path +r'\IMG_VERDE.jpeg',True)
66     #Tuplas de datos para la Aplicación
67     Data_Rosa = (IMG_ROSA,119)
68     Data_Azul = (IMG_AZUL,139)
69     Data_Verde = (IMG_VERDE,118)
70     #Calculo de los anchos
71     ancho_rosa = medir_ancho_objeto(Data_Rosa)
72     ancho_azul = medir_ancho_objeto(Data_Azul)
73     ancho_verde = medir_ancho_objeto(Data_Verde)
74     val_real = [52,87,56]
75     error = [round(abs(ancho_rosa-val_real[0])/ancho_rosa*100,2),
76             round(abs(ancho_azul-val_real[1])/ancho_azul*100,2),
77             round(abs(ancho_verde-val_real[2])/ancho_verde*100,2)]
78     print(f"El ancho de las diferentes imagenes es:")
79     print(f"Imagen    Ancho (mm)      Error (%)")
80     print(f"Rosa      {ancho_rosa}          {error[0]}")
81     print(f"Azul      {ancho_azul}          {error[1]}")
82     print(f"Verde     {ancho_verde}          {error[2]}")
83
84 if __name__ == "__main__": main()
```