

# Principios de imagen

Carlos Coronado Zúñiga, Adrián Monge Barahona  
 az36226@estudiantec.cr admonge@estudiantec.cr  
 MT-9008 Sistemas de Visión  
 Área Académica de Ingeniería Mecatrónica  
 Instituto Tecnológico de Costa Rica

## Resumen

Este Proyecto fue realizado con Python en Google Colab, por Carlos Coronado Zúñiga y Adrián Monge Barahona, Colegio ITCR, Costa Rica.

Primero, se calcula la distancia focal efectiva de una cámara teléfono, a través de una vía de montaje. Además se desarrolla un aplicación para utilizarlo como instrumento de medida objetos comunes, de un solo color, sin mucha variación.

La aplicación recibe como entrada la distancia de trabajo y la imagen del objeto contra el fondo (EN RESOLUCIÓN 320X240 O ANCHO EQUIVALENTE 320), y devuelve la medida del ancho del objeto en unidades reales, contrastando los resultados con la medida obtenida por un método no visual.

## Palabras clave

Visión, Cámara, Medición, Distancia, Focal, Objetos

## I. EJERCICIO 1

### I-A. Definición del problema

Para este ejercicio se debe calcular la distancia focal de manera experimental de una cámara de un teléfono celular. Esto debido a que, habitualmente, se usa una medida para este parámetro que no es exactamente igual al visto en clase.

### I-B. Planteamiento del problema

En primer lugar, es necesario determinar cuál es la relación que permite determinar dicha distancia focal, la cual se desprende del conocimiento básico sobre ópticas, este proceso de captura de imagen se ilustra en la figura 1, en dicha imagen se puede observar como existe una relación geométrica entre cuatro distancias, en las que una representará la incógnita (distancia focal), y las demás corresponden a variables del sistema.

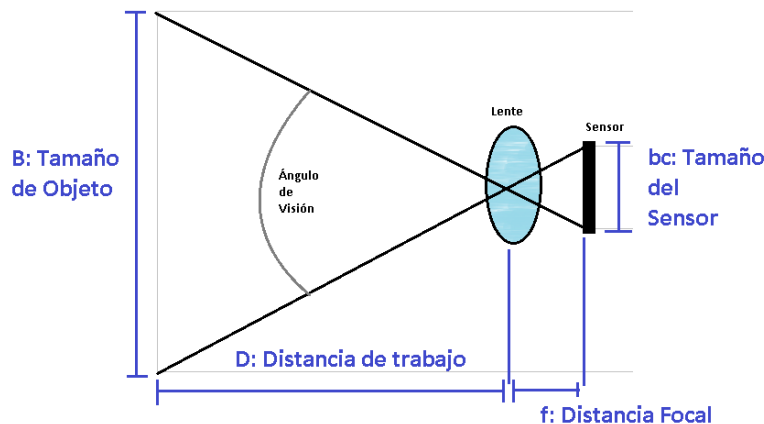


Figura 1: Representación de la relación entre variables para la determinación de longitud focal. [Elaboración propia].

Ahora bien, para el cálculo de la distancia focal ( $f$ ) es necesario conocer los siguientes valores de nuestro sistema:

- Distancia de trabajo ( $D$ ).
- Tamaño de objeto ( $B$ ).
- Tamaño de sensor ( $bc$ ).

Todos estos con unidades de  $mm$ . Además, en este caso el tamaño del sensor es una constante. Los otros 2 valores serán variables, por lo que se realizarán varias tomas de datos, a diferentes distancias de trabajo y diferentes tamaños de objetos, para obtener un valor promedio de distancia focal que permita aumentar la confiabilidad del cálculo obtenido.

### I-C. Metodología de trabajo

Para comenzar, es necesario determinar el tamaño del sensor, para lo cual se realiza una búsqueda de información sobre las especificaciones del modelo a utilizar. Dicho modelo corresponde a un “Motorola G8 Power Lite”, sin embargo, no se halló información en páginas web, o del fabricante sobre el tamaño del sensor, por lo que se decide emplear una aplicación de teléfono llamada “Device Info HW”, la cual accede a la información completa del sistema, y permite determinar que el tamaño del sensor de la cámara frontal corresponde 4.64 mm de ancho por 3.48 mm de alto <sup>2</sup>, conservando una relación de imagen “4/3”.

Device Info HW

M

SCREEN

MEMORY

CAMERA

BATTERY

SENSORS

HARDWARE

Supported16

SOFTWARE

Camera0 - BACK

Resolution16.0 MP (4608x3456)

Aperturef/2.0

Focal length3.44 mm

Focus modesinfinity, auto, macro, continuous-video, continuous-picture

Sensor size4.64x3.48

Diagonal5.8 mm

Pixel size~1.01 μm

View Angle68.0°

Zoom4.0x

Image formatsRAW\_SENSOR, JPEG, YUV\_420\_888, YV12

ISO100-6400

Color FilterGBRG

Orientation90

Flashyes

Camera2 APIfull

Figura 2: Datos obtenidos de la cámara trasera del celular. [Elaboración propia].

Seguidamente, se establece el diseño experimental para la toma de mediciones para calcular la distancia focal. Se decide utilizar como objeto una regla, que permite medir mejor el ancho visible en la imagen, además de que al ser un objeto plano, no genera sombras, ni muchos problemas de perspectiva, así con una cinta métrica se mide la distancia a la que se pone la cámara de forma perpendicular al plano de la regla.

Se define que para este ejercicio se va a trabajar con 5 diferentes medidas de distancia de trabajo cercanas a la cámara, lo que dará en 5 diferentes tamaños de objeto. Además, se trabajará con 1 distancia de trabajo más lejana y su respectivo tamaño de objeto. De manera que, como se mencionó anteriormente, se generen diferentes resultados que permitan aumentar la confiabilidad del cálculo con un valor medio y una incertidumbre a partir de los diferentes casos analizados.

Las distancias de trabajo a las que se les va a medir el ancho del tamaño de objeto son las siguientes:

- A 10 cm.
- A 12.5 cm.
- A 15 cm.
- A 17.5 cm.
- A 20 cm.
- A 78 cm.

Una vez se tengan las mediciones correspondientes se va a proceder a realizar una tabla que resuma las mediciones realizadas.

### I-D. Resultados obtenidos

En la figura 3, se muestran las mediciones realizadas para las diferentes valores de distancia de trabajo ( $D$ ) y con la regla se aprecia la medición del tamaño del objeto.

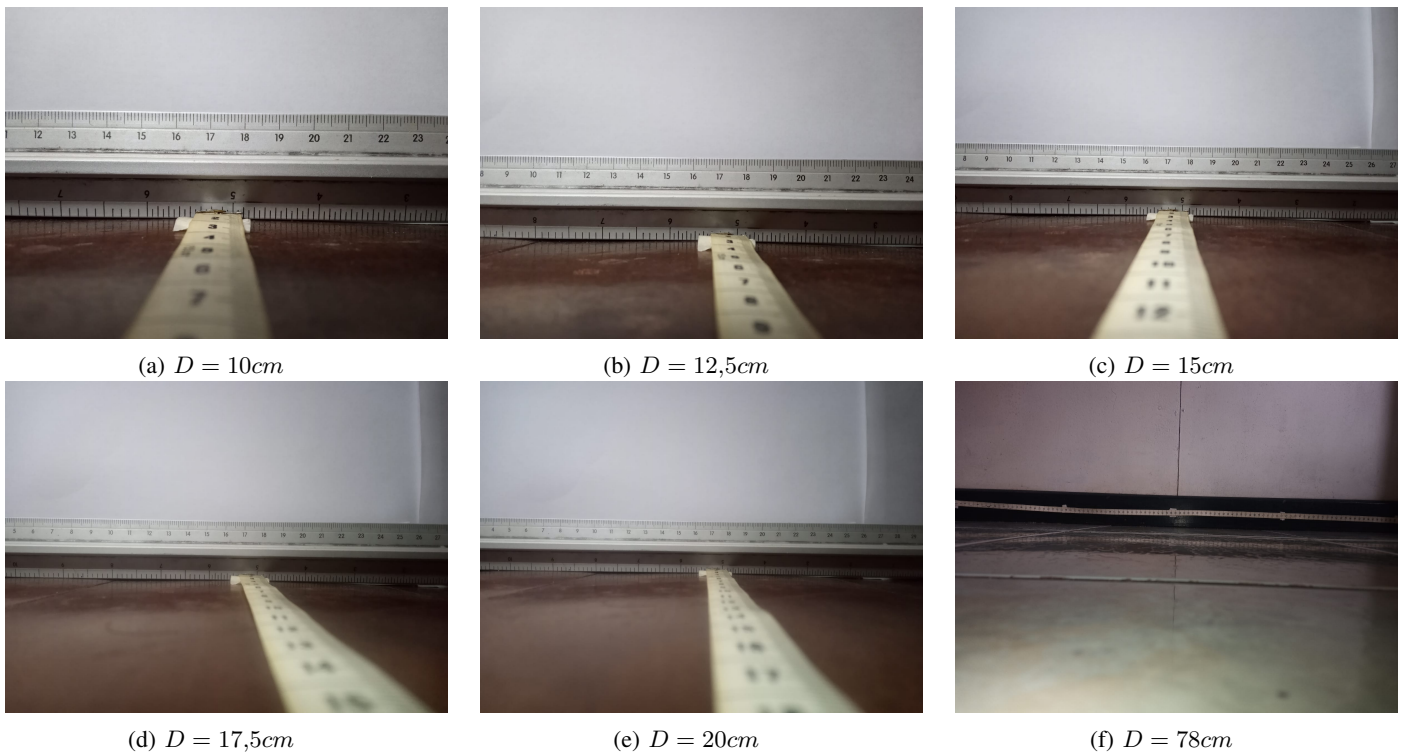


Figura 3: Medidas de distancia focal realizadas

Para calcular la distancia focal se analiza el diagrama en 1. A partir de este se aplica una relación de triángulos semejantes de donde se obtiene la siguiente fórmula:

$$f = \frac{bc * D}{B} \quad (1)$$

En la tabla I se resumen los datos obtenidos de distancia de trabajo, tamaño de objeto y la distancia focal obtenida al aplicar 1, así como el valor de promedio de esta, dadas las diferentes mediciones realizadas. Recordando que el tamaño de sensor ( $bc$ ) es un valor constante de  $4,64mm$  (se toma como incertidumbre  $\pm 0,01mm$ ), dado en 2. Dando como resultado la distancia focal  $f$   $3.55$  mm. (La cual está cercana al valor determinado por la aplicación en la figura 2).

Cuadro I: Valores para el cálculo de la distancia focal de la cámara

Med	Dist Trab ( $\pm 0.5$ mm)	Línea máx ( $\pm 0.5$ mm)	Línea mín ( $\pm 0.5$ mm)	Tamaño obj ( $\pm 0.5$ mm)	Dist Focal ( $\pm 0.03mm$ )
1	100	239	110	129	3.60
2	125	245	79	166	3.49
3	150	272	74	198	3.52
4	175	275	45	230	3.53
5	200	295	32	263	3.53
6	780	1000	0	1000	3.62
Promedio					3.55

## II. EJERCICIO 2

### II-A. Definición del problema

Ahora, una vez obtenida la distancia focal efectiva de su cámara, se debe desarrollar una aplicación para usar la misma como instrumento de medida. Para ello, han de tomar objetos, preferentemente de un solo color o con no mucha variación, y ponerlo delante de la cámara (con un fondo regular). La aplicación recibe como entrada la distancia de trabajo y la imagen del objeto contra el fondo (EN RESOLUCIÓN 320X240 O EQUIVALENTE ANCHO 320), y devuelve la medida del ancho del objeto en unidades reales (es decir, no píxeles). Tienen que presentar los resultados de su aplicación usando diferentes objetos, a diferentes distancias de trabajo y cotejando los resultados contra la medida obtenida por un medio no visual.

### II-B. Planteamiento del problema

Primeramente, es necesario determinar o entender las necesidades de nuestra aplicación, en este caso se define que el objetivo es la medición de una magnitud física (anchura de objeto) respecto a una imagen. De esta manera se puede decir que la tarea

a realizar se puede categorizar ya sea en la familia de clasificación de productos según medidas o de metrología. Dado que se nos pide la conversión del resultado a una unidad real de medida, se define que corresponde a metrología primordialmente, aunque las medidas se podrían emplear para criterios de “pasa/ no pasa”.

Ahora bien, puesto que según la teoría, las aplicaciones de metrología han de ser especialmente exigentes en relación con la modificación de características del objeto en la imagen, y que necesitan de un calibrado previo del sistema para ser efectivas, se debe ser cuidadosos a la hora de plantear el diseño experimental de captura de imagen que permita el menor error posible.

En este caso, es necesario realizar un diseño experimental basado en las consideraciones sobre diseño de inspecciones de visión. Para lo cual se comienza por elegir los objetos y los fondos a utilizar, los cuales no están limitados como sería en una aplicación real.

Sin embargo, determina que es preferible emplear una serie de objetos y fondos que permitan un análisis exhaustivo del sistema (Ver figura 4). Se decide emplear una caja de cartón de color café claro sobre un fondo oscuro de tela (4a), así como una tapa cilíndrica de goma en barra de color rojo sobre una superficie blanca de papel (4b), y una botella rectangular de vidrio de color negro sobre la misma superficie blanca de papel (4c), abarcando así varias formas, colores, tamaños de objetos así como la interacción respecto al fondo.



Figura 4: Imágenes originales de los objetos a medir. [Elaboración propia].

Seguidamente, se procede con la primera etapa que corresponde a la captura de imagen. Aquí, se busca poder emplear la mejor forma de capturar la imagen que contenga la mayor cantidad de información posible, sin incurrir en “errores”.

No obstante, antes de seguir con el análisis de la etapa de “captura de imagen”, es necesario definir la manera en que se realiza la medición, para lo cual se plantea dado que no es necesario conocer detalles de color, o de detalles, sino más bien la forma del objeto para poder medirla, entonces se buscará binarizar por medio de la iluminación lo más posible la imagen, para luego preprocesarla.

El primer paso respecto a la iluminación, es que en este caso los únicos medios con los que se cuentan son con una lámpara de estudio, así como con el “Flash” del teléfono, los cuales son medios limitados. En los casos de los objetos opacos, como lo son la caja de cartón (4a); y la tapa de goma en barra (4c), se decide emplear la mayor luz posible, pues no hay efectos de reflexión que pudiesen saturar sectores del sensor. Esta luz es, frontal, lo cual en el caso de la caja permite reducir efectos de sombras producto del volumen de la misma, y en el caso de la tapa, se agrega iluminación de forma vertical (“Dark field”) para reducir la sombra que provoca su forma cilíndrica, y realzar el contraste de la superficie.

Por el contrario, en el caso de la botella (4b), no se emplea la luz “Flash”, ya que al ser de vidrio y tener volumen se presenta un efecto especular que interfiere con el objetivo de medición, pues se presentan zonas de saturación en el sensor. Así pues, se decide iluminar únicamente con la lámpara de forma vertical.

Ahora bien, se procede con la etapa de “Preprocesado”, como se indica en el enunciado, es necesario disminuir el tamaño de la imagen a 320x240, seguidamente, se puede convertir a escala gris la imagen, dado que la aplicación no requiere de color según el análisis. Dada la claridad de las imágenes no se considera necesario realizar alguna limpieza o filtrado, sin embargo, si se plantea determinar el histograma para hallar valores umbrales con los cuales se pueda emplear una binarización digital llevando al máximo el contraste entre el objeto (forma) y el fondo.

Por último se tiene la sección de segmentación en la que se define que se puede tomar un porcentaje de análisis de la imagen que equivaldría un número concreto de líneas horizontales de las 240 posibles. Dichas líneas se tomarían a partir de un valor específico de altura que permita analizar secciones en específico, simplificando además el coste computacional. Generalmente, se tomaría dicho valor como el centro de la imagen a 120. Dicha porción de la imagen corresponde a nuestra segmentación de anchura.

Así pues, luego se puede emplear una clasificación, que permita, por ejemplo, calcular el promedio de cantidad de píxeles que representan al objeto (ceros por defecto), presentes en todas las filas, y realizar una conversión entre este número y la relación 1, así como la conversión de tamaño de imagen, dando un resultado en una magnitud física real.

Este planteamiento presentaría 2 problemas iniciales, el primero es que puede darse el caso en que no todos los valores de ceros correspondan al objeto en una línea que se esté analizando, sin embargo, si la captura de imagen y pre procesamiento se realizan de manera correcta no debería influir mucho en el valor al ser datos promediados. Además, se asume que es necesario que el ancho a medir sea regular (rectangular - orientada de forma paralela) y no presente un gradiente respecto al cambio de líneas (ancho en general del objeto), aunque se podría ajustar en la aplicación las variables de alto a medir en la imagen, así como porcentaje de líneas que permitiría medir anchos máximos de bordes de figuras no regulares (rombos, círculos triángulos, etc).

Las imágenes se trabajarán en el tipo de archi JPG, debido a que es por defecto como se toman en el dispositivo y las perdidas por compresión se consideran insignificantes.

### II-C. Resultados obtenidos

En esta sección corresponde mostrar los resultados obtenidos a través de la ejecución de las etapas planteadas anteriormente. En este caso se puede observar en las figuras: 5, 6, 7, 8, 9 y 10 que se presentan los resultados de los diferentes procesos realizados en las imágenes de objetos planteadas anteriormente.

Cabe mencionar que para los objetos 4c y 4b se realizaron análisis a diferentes distancias de trabajo ( $D$ ), las cuales son documentadas en cada imagen.

En dichas imágenes se muestra el mismo orden de representación de resultados, las imágenes (a) corresponden la imagen del objeto convertida de un tamaño original de 4608x3456 a 320x240 píxeles de ancho alto respectivamente, así como la conversión a escala de gris. (Ver figuras: 5a,6a, 7a,8a, 9a, 10a)

Igualmente, en las figuras correspondientes a (b), se muestran los histogramas de dichas imágenes en los cuales se puede notar una división entre dos “campanas”, lo cual representa una binarización suficientemente buena en el proceso de captura de la imagen, lo cual permite establecer el umbral de binarización para cada caso. (Ver figuras: 5b,6b, 7b,8b, 9b, 10b).

Además, se procede a binarizar la imagen con dicho umbral y se observa en las figuras (c): 5c,6c, 7c,8c, 9c, 10c). Como efectivamente se da una segmentación del objeto que permitiría la determinación de la anchura de los mismos. Los histogramas correspondientes a dicha binarización se muestran en las correspondientes figuras: 5d,6d, 7d,8d, 9d, 10d).

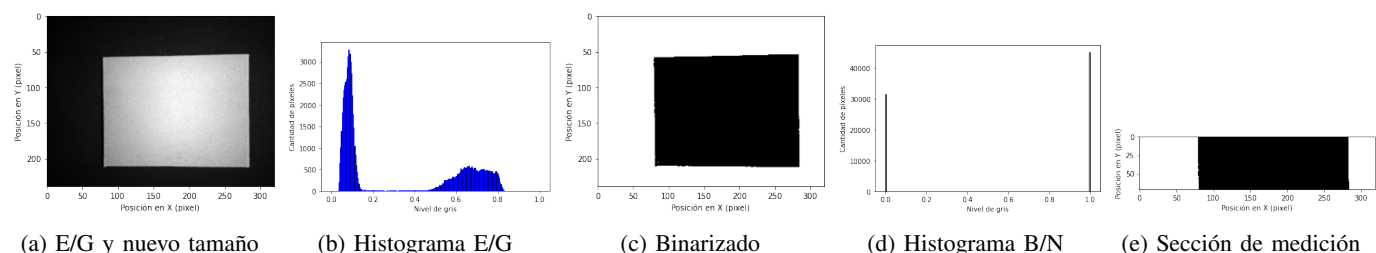


Figura 5: Resultados de los procesos realizados para la medición de la caja a 14.5 cm de distancia de trabajo

Dado el histograma en 5b, de la imagen en 5a, se decidió realizar la binarización en 0,45.

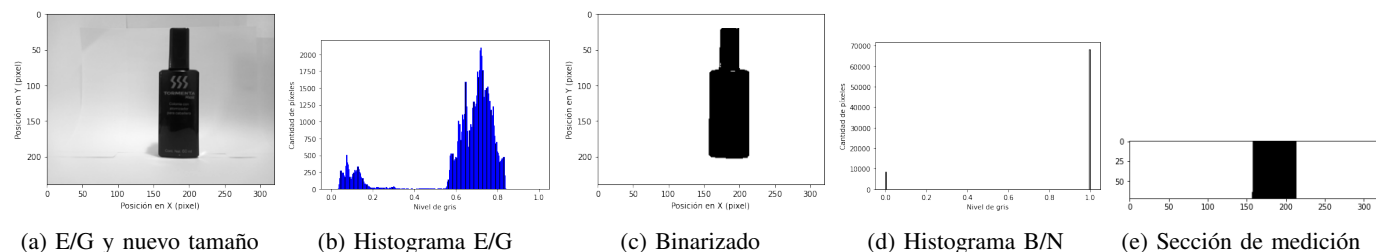


Figura 6: Resultados de los procesos realizados para la medición de la botella a 25 cm de distancia de trabajo

Dado el histograma en 6b, de la imagen en 6a, se decidió realizar la binarización en 0,4.

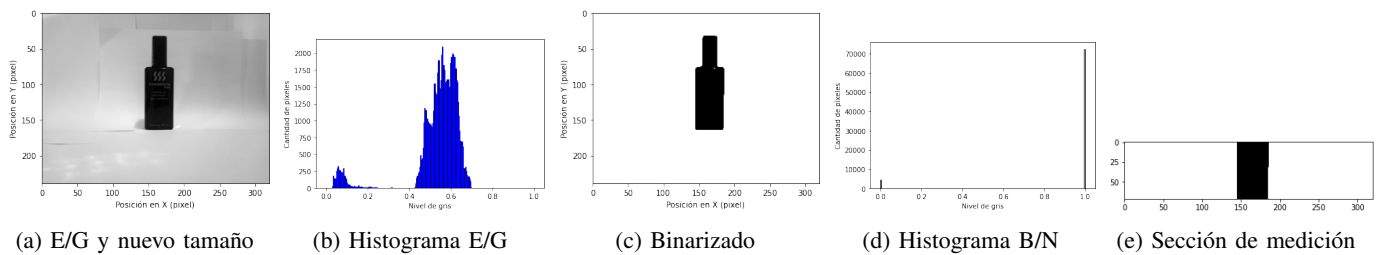


Figura 7: Resultados de los procesos realizados para la medición de la botella a 30 cm de distancia de trabajo

Dado el histograma en 7b, de la imagen en 7a, se decidió realizar la binarización en 0,4.

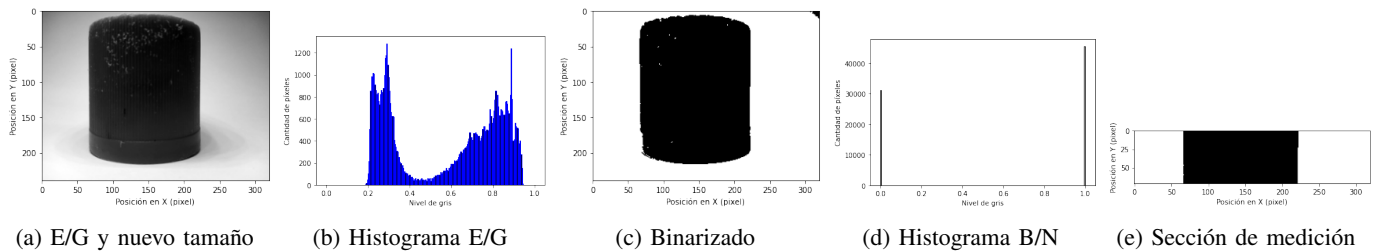


Figura 8: Resultados de los procesos realizados para la medición de la tapa a 5 cm de distancia de trabajo

Dado el histograma en 8b, de la imagen en 8a, se decidió realizar la binarización en 0,46.

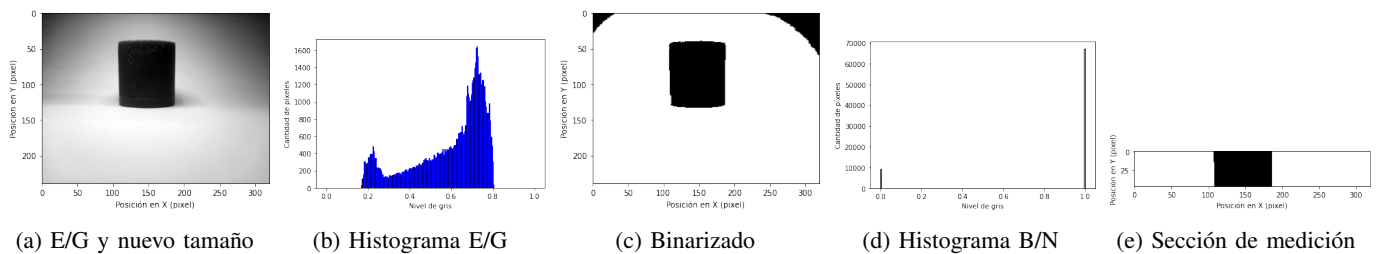


Figura 9: Resultados de los procesos realizados para la medición de la tapa a 10 cm de distancia de trabajo

Dado el histograma en 9b, de la imagen en 9a, se decidió realizar la binarización en 0,33.

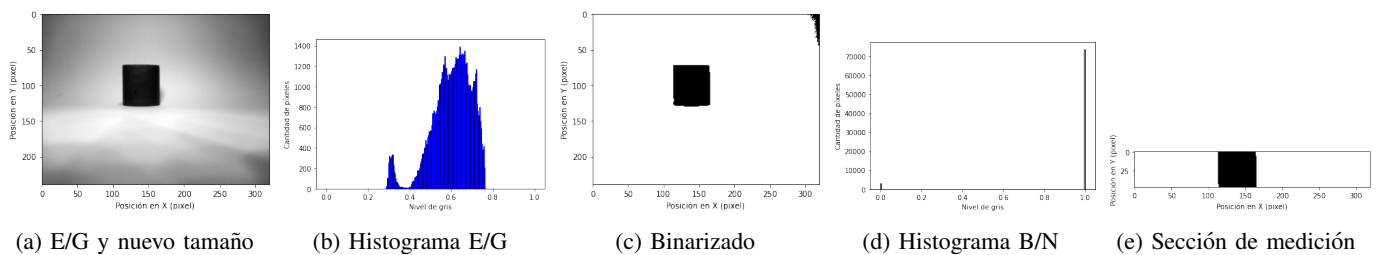


Figura 10: Resultados de los procesos realizados para la medición de la tapa a 15 cm de distancia de trabajo

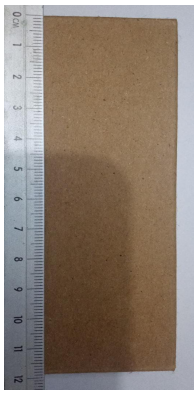
Dado el histograma en 10b, de la imagen en 10a, se decidió realizar la binarización en 0,42.

Finalmente, en 5e, 6e, 7e, 8e, 9e y 10e se tienen unas secciones de la imagen binarizada, a las cual se les va a realizar la medición tomando el promedio de píxeles negros que hay en cada fila de dichas imágenes.

Para comparar las medidas obtenidas mediante el software, se procedió a medir los objetos de manera física. En 11 se muestran las medidas obtenidas.

En la tabla ?? se resumen los valores obtenidos de medidas del ancho del objeto, así como el respectivo valor de referencia que se midió físicamente.





(a) Medida de caja



(b) Medida de botella



(c) Medida de tapa

Figura 11: Medidas físicas realizadas del ancho de los diferentes objetos.

Cuadro II: Resultados obtenidos de mediciones de ancho

Objetos	Distancia de trabajo ( $\pm 0,5mm$ )	Ancho calculado ( $\pm 0,1mm$ )	Ancho promedio ( $\pm 0,1mm$ )	Medida física ( $\pm 0,5mm$ )
Caja	145	120.8	120.8	119.0
Botella	250	49.6	47.7	44.0
	300	45.8		
Tapa	50	31.7	31.8	31.0
	100	32.0		
	150	31.7		

#### II-D. Conclusiones

A manera general, se concluye que la determinación de las medidas del ancho de los objetos se realizó de manera exitosa, basado en una aplicación de visión por computador y siguiendo el esquema de diseño de soluciones visto en el curso, que permitió establecer el objetivo y los pasos necesarios tanto para la captura de la imagen, como para el procesamiento de la misma.

El diseño del sistema permite, como se muestra en los resultados, segmentar la imagen y determinar un valor real de anchura de distintos objetos, indistintamente de los fenómenos como el color, el tamaño y la relación con el fondo, por lo que el sistema es robusto incluso ante cambios de longitud de trabajo significativos respecto al tamaño del objeto.

Se consideró aceptable el valor de distancia focal obtenido experimentalmente. Ya que coincidió de manera bastante cercana al valor teórico obtenido mediante la aplicación, además que los cálculos de anchura obtenidos tampoco distan mucho de los medidos físicamente.

Finalmente, se tiene valores bajos de error porcentual considerados aceptables considerando las condiciones en las que se realiza el experimento al no contar con equipos especializados. Dichos cálculos de error corresponden a:

- Caja = 1.47 %
- Botella = 8.41 %
- Tapa = 2.58 %

El error máximo corresponde a menos de 10 %, para la botella, que es el objeto con distancia de trabajo más larga.