

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción general . . . . .	1
1.2. Estado del arte . . . . .	2
1.2.1. Viveros frutales . . . . .	2
1.2.2. Visión estéreo . . . . .	2
1.2.3. Robot móvil . . . . .	5
1.3. Revisión bibliográfica . . . . .	7
1.3.1. Trabajos previos . . . . .	7
1.4. Discusión . . . . .	11
1.5. Hipótesis . . . . .	12
1.6. Objetivos . . . . .	12
1.6.1. Objetivo general . . . . .	12
1.6.2. Objetivos específicos . . . . .	12
1.7. Alcances del proyecto . . . . .	13
1.8. Metodología . . . . .	14
<b>2. Aplicación de visión estéreo para medición de calibre</b>	<b>15</b>
2.1. Definición de lenguaje de programación a utilizar . . . . .	15
2.2. Cálculo y obtención del ancho de un objeto a través de una imagen . . . . .	16
2.2.1. Obtención de imagen . . . . .	18
2.2.2. Búsqueda de bordes . . . . .	18
2.2.3. Búsqueda de líneas rectas . . . . .	21
2.2.4. Cálculo de ancho o diámetro en píxeles . . . . .	22
2.2.5. Transformación de píxeles a milímetros . . . . .	23
2.3. Cálculo de profundidad mediante visión estéreo . . . . .	24
2.3.1. Geometría del sistema . . . . .	24
2.3.2. Calibración de cámaras individuales . . . . .	26
2.3.3. Calibración de las cámaras como par estereoscópico . . . . .	29
2.3.4. Correspondencia estéreo . . . . .	31
2.3.5. Cálculo de distancia mediante uso de visión estéreo . . . . .	33
2.3.6. Comentarios . . . . .	37
2.4. Implementación de algoritmos en un ordenador de placa reducida . . . . .	38
2.4.1. Justificación . . . . .	38
2.4.2. Depuración de códigos . . . . .	39
2.4.3. Algoritmos depurados aplicados en Raspberry Pi 4 . . . . .	39
2.5. Especificación de materiales utilizados para pruebas . . . . .	41
2.5.1. Especificaciones técnicas de la cámara web Logitech C270 HD. . . . .	41
2.5.2. Planos de sistema de sujeción . . . . .	42
<b>3. Diseño de robot móvil para transporte de instrumento de medición estéreo</b>	<b>43</b>
3.1. Robot móvil tipo diferencial . . . . .	43
3.1.1. Requerimientos . . . . .	43
3.1.2. Selección de componentes . . . . .	43
3.2. Diseño 3D del robot móvil . . . . .	45

3.2.1.	Análisis de elemento finito . . . . .	46
<b>4.</b>	<b>Diseño electrónico</b>	<b>49</b>
4.1.	Requerimientos del sistema . . . . .	49
4.2.	Selección de componentes electrónicos . . . . .	50
4.2.1.	Selección de método de movimiento autónomo . . . . .	50
4.2.2.	Selección de motores DC . . . . .	52
4.2.3.	Controlador de motores - puente H . . . . .	53
4.2.4.	Seguidor de línea . . . . .	53
4.2.5.	Microcontrolador . . . . .	53
4.2.6.	Alimentación de componentes . . . . .	54
4.2.7.	Selección de batería . . . . .	54
4.3.	Diagramas de conexión . . . . .	55
4.4.	Programa Arduino UNO . . . . .	56
4.5.	Clasificación de calibre . . . . .	57
4.5.1.	Componentes . . . . .	58
4.5.2.	Comunicación I2C . . . . .	58
4.5.3.	Diagrama de conexión . . . . .	59
4.5.4.	Programación . . . . .	60
<b>5.</b>	<b>Resultados experimentales</b>	<b>62</b>
5.1.	Primer acercamiento de prueba a la programación con OpenCV y C++	62
5.2.	OpenCV y Python . . . . .	63
5.2.1.	Obtención de imágenes para la calibración de cámaras . . . . .	63
5.2.2.	Cálculo de distancia . . . . .	64
5.2.3.	Cálculo de diámetro . . . . .	67
5.3.	Implementación de sistema de prueba para visión estereoscópica . . . . .	75
5.4.	Resultados finales aplicados en Raspberry Pi 4 . . . . .	78
5.5.	Aplicación de movimiento a robot móvil . . . . .	80
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>84</b>
6.1.	Sumario . . . . .	84
6.2.	Conclusiones . . . . .	86
6.3.	Plan de cierre . . . . .	87
6.4.	Trabajos futuros . . . . .	87
<b>7.</b>	<b>Anexos</b>	<b>91</b>
A.	Especificaciones de ordenador en primera iteración de creación de algoritmos . . . . .	91
B.	Especificaciones técnicas de la Raspberry Pi 4. . . . .	92
C.	Planos de robot . . . . .	93
D.	Planos de sistema de sujeción . . . . .	99
E.	Código depurado para uso en <i>Raspberry Pi 4</i> . . . . .	103
E.a.	Código principal . . . . .	103
E.b.	Calibración de cámaras . . . . .	104
E.c.	Detección de objetivo . . . . .	106
E.d.	Cálculo de distancia . . . . .	108

E.e.	Cálculo de diámetro . . . . .	110
E.f.	Programa Arduino UNO seguidor de línea . . . . .	113

## Índice de Figuras

1.1.	1. Córnea, 2. Iris, 3. Cristalino, 4. Cuerpo ciliar, 5. Esclera, 6. Coroides, 7. Retina, 8. Nervio óptico, 9. Canal hialoideo, 10. Humor vítreo, 11. Ora serrata. [4] . . . . .	3
1.2.	Robot tipo diferencial diseñado para el proyecto. . . . .	6
1.3.	Resultados experimentales de la implementación de visión estéreo en la navegación autónoma de vehículos tripulados. Experimento de medición de distancia. Extraído de [13]. . . . .	8
1.4.	Vista ampliada de definición de valores límites en interfaz gráfica para la clasificación según tamaño. [16] . . . . .	9
1.5.	Resultado obtenido para la detección y cuantificación de defectos. [17] .	10
2.1.	Resultado obtenido de un modelado 3D con Regard 3D. . . . .	15
2.2.	Resultado de la ejecución del Código 5.1. . . . .	17
2.3.	Diagrama de flujo de los procedimientos realizados para el cálculo de ancho o diámetro de un tronco. . . . .	18
2.4.	Tránsito de un kernel. Extraído de [20]. . . . .	19
2.5.	Ejemplo imagen con aplicación de algoritmo de Canny. Extraído de [21].	21
2.6.	Configuración Canónica de un sistema estéreo [24]. . . . .	24
2.7.	Relación Geométrica de un Sistema de Visión Estereoscópica [26]. . . .	25
2.8.	Modelo básico de una cámara. Extraído de [27]. . . . .	27
2.9.	Diagrama de flujo que describe el proceso de obtención de distancia con visión estéreo. . . . .	34
2.10.	Fotografía izquierda y derecha captadas y rectificadas. Extraído de [30].	35
2.11.	Cinco direcciones consideradas en el algoritmo <i>SGBM</i> . . . . .	36
2.12.	Ejemplo de aplicación de la eliminación de ruidos según <i>MorphologyEx</i> de clase "close". Extraído de [32]. . . . .	37
2.13.	Raspberry Pi 4 en donde se implementa el proyecto de visión estéreo. .	38
2.14.	Diagrama de flujo explicativo de algoritmo depurado para implementación en raspberry pi 4. . . . .	40
2.15.	Sistema par el montaje de las cámaras web ensamblado. . . . .	42
3.1.	Diseño de la rueda. . . . .	44
3.2.	Diseño de la rueda loca. . . . .	44
3.3.	Modelo 3D del robot móvil. . . . .	45
3.4.	Plano y distribución de componentes sobre placa inferior. . . . .	46
3.5.	Plano y distribución de componentes en placa superior del robot. . . .	47
3.6.	Modelo 3D del conjunto motor - rueda. . . . .	47
3.7.	Análisis estático, tensión de Von Misses. . . . .	48
4.1.	Diagrama de conexión para circuito de alimentación del robot. . . . .	56
4.2.	Diagrama de conexión para circuito de control del robot. . . . .	56
4.3.	Montaje de sensores reflectivos infrarrojos. . . . .	57
4.4.	Pantalla LCD LCM-S01602DTR. Extraído de [41]. . . . .	58
4.5.	Módulo interfaz serial I2C. Extraído de [43]. . . . .	59
4.6.	Estructura de un mensaje I2C. Extraído de [44]. . . . .	60
4.7.	Diagrama de conexión para visualizar resultados en pantalla LCD. . . .	60
5.1.	Curva de comportamiento y curva aproximada con la función de cuarto orden. . . . .	67

5.2. Imágenes de prueba obtenidas. . . . .	69
5.3. Líneas detectadas gracias a las funciones en el Código 5.12. . . . .	70
5.4. Resultado de la superposición de imágenes. . . . .	71
5.5. Gráfico para la aproximación de una curva y su función. . . . .	74
5.6. Montaje de cámaras en sistema de sujeción. . . . .	75
5.7. Imagen para la calibración de las cámaras. . . . .	76
5.8. Disposición de materiales en el espacio físico de pruebas. . . . .	76
5.9. Mapa de profundidad que entrega la distancia de las cámaras al objeto de estudio. . . . .	77
5.10. Resultado final, listo para la clasificación. . . . .	78
5.11. Situación de estudio. . . . .	78
5.12. Resultado de la detección de objetivo y ubicación aproximada de su centro. . . . .	79
5.13. Espacio de trabajo del sistema estéreo para correctas mediciones. . . . .	79
5.14. Resultado de aplicación de algoritmos en Raspberry Pi 4. . . . .	80
5.15. Mensajes finales del resultado de aplicación de algoritmos en Raspberry Pi 4. . . . .	80
5.16. Simulación de comportamiento seguimiento de línea. Recorrido en línea recta. . . . .	81
5.17. Simulación de comportamiento seguimiento de línea. Giro a la izquierda. . . . .	82
5.18. Simulación de comportamiento seguimiento de línea. Giro a la derecha. . . . .	83
7.1. Placa inferior robot móvil. . . . .	93
7.2. Placa superior robot móvil. . . . .	94
7.3. Placa frontal robot móvil. . . . .	95
7.4. Placa lateral robot móvil. . . . .	96
7.5. Distribución de componentes en la placa inferior. . . . .	97
7.6. Distribución de componentes en la placa superior. . . . .	98
7.7. Pieza de agarre para cámara web. . . . .	99
7.8. Pieza de anclaje de dos cámaras. . . . .	100
7.9. Pieza base, para la estabilización y postura en superficies. . . . .	101
7.10. Pieza base modificada para montaje en robot móvil. . . . .	102

## Índice de Tablas

1.1. Terminología empleada para el calibre de la planta [3]. . . . .	2
2.1. Especificaciones técnicas de <i>Webcam Logitech C270 HD</i> . . . . .	42
3.1. Propiedades del acrílico. Información extraída de [33]. . . . .	43
4.1. Matriz de priorización para elección de control de movimiento de robot. . . . .	51
4.2. Parámetros de funcionamiento del robot. . . . .	52
4.3. Componentes conectados a microcontrolador. . . . .	54
4.4. Consumo máximo de componentes conectados a la batería. . . . .	55
7.1. Especificaciones técnicas computador de pruebas. . . . .	91