

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.1.1	Biometría basada en Iris.....	1
1.1.1.1	Reconocimiento biométrico.....	1
1.1.1.2	Iris como patrón de reconocimiento.....	4
1.1.1.3	Problemas de oclusiones, ángulos y tridimensionalidad.....	5
1.1.2	Fotogrametría para el modelaje 3D.....	5
1.1.2.1	Métodos de modelaje 3D a partir de imágenes bidimensionales	6
1.1.2.2	Softwares de modelaje 3D a partir de imágenes bidimensionales	8
1.1.2.2.1	Python Photogrammetry Toolbox	8
1.1.2.2.2	ARC3D.....	8
1.1.2.2.3	Autodesk 123D Catch	8
1.1.2.3	Parámetros a considerar.....	9
1.1.2.4	Comparación de modelos 3D	9
1.1.3	Estado del Arte.....	9
1.1.3.1	Bases de imágenes y Adquisición de imagen del iris.....	9
1.1.3.2	Codificación y emparejamiento de textura.....	10
1.1.3.3	Modelamiento 3D.....	10
1.1.3.4	Modelamiento 3D de estructuras biométricas	10
1.2	Motivación	11
1.3	Hipótesis	11
1.4	Objetivos.....	11
1.4.1	Objetivo general	11
1.4.2	Objetivos específicos:	11
2	MARCO TEÓRICO	11
2.1	Procesamientos de imagen.....	12
2.1.1	Ecuación de histograma de imagen en escala de grises	12
2.1.2	Filtro Gaussiano 2D	12
3	DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE MODELAMIENTO TRIDIMENSIONAL DEL IRIS.....	13
3.1	Sistema de adquisición de imágenes bidimensionales del iris.....	13

3.1.1	Hardware del sistema	14
3.1.1.1	Computador	15
3.1.1.2	Computador de placa reducida “ <i>Raspberry Pi 3 Model B</i> ”	15
3.1.1.3	Cámara “ <i>Raspberry Pi NoIR – Camera Board</i> ”	16
3.1.1.3.1	Modificación del enfoque Cámara Raspberry Pi	17
3.1.2	Estructura de toma de imágenes	17
3.1.2.1	Lente de realidad virtual	18
3.1.2.2	Estructura móvil para cámara	18
3.1.2.2.1	Base de Deslizamiento	19
3.1.2.2.2	Carcasa cámara	20
3.1.2.3	Circuito de luces LED	21
3.1.2.3.1	Arreglo de luces central	21
3.1.2.3.2	Luces laterales	22
3.1.3	Configuración del sistema	24
3.1.3.1	Configuración Raspberry Pi	24
3.1.3.2	Conexión SSH entre <i>Raspberry</i> y computador	24
3.1.3.3	Script de toma de imágenes	24
3.1.4	Adquisición de imágenes bidimensionales	25
3.1.4.1	Metodología toma de imágenes	25
3.1.4.1.1	Iniciación del sistema	25
3.1.4.1.2	Ejecución script de toma de imágenes	26
3.1.4.2	Resultados de toma de imágenes	26
3.2	Construcción de Modelo Tridimensional	27
3.2.1	Procesamiento de imágenes de Iris	27
3.2.1.1	Encuadrar el iris	28
3.2.1.2	Borrar pupila	28
3.2.1.3	Ecualizar histograma imagen	29
3.2.1.4	Suavizado gaussiano de la imagen	29
3.2.1.5	Resultados Procesamientos	30
3.2.1.5.1	Encuadre	30
3.2.1.5.2	Encuadre y suavizado gaussiano	31
3.2.1.5.3	Encuadre, suavizado gaussiano y eliminación de pupila	31

3.2.1.5.4	Encuadre, suavizado gaussiano, eliminar pupila y ecualizar	32
3.2.2	Software de Modelamiento	32
3.2.2.1	Parámetros de entrada	32
3.2.2.1.1	Escala de la imagen	32
3.2.2.1.2	Ancho del sensor de la cámara (CCD width)	33
3.2.2.1.3	Número de imágenes	33
3.2.2.2	Parámetros de salida	33
3.2.2.2.1	Número de nubes de puntos preliminares	33
3.2.2.2.2	Número de puntos en el modelo	33
3.2.2.3	Variación del parámetro de entrada: Número de imágenes.....	33
3.2.3	Resultados del modelamiento 3D.....	34
3.2.3.1	Modelamiento de imágenes con <i>CCD width</i> original	34
3.2.3.2	Modelamiento de imágenes con diferentes <i>CCD width</i>	36
3.2.3.3	Modelamiento variando la cantidad de imágenes	41
3.3	Método resultante	47
3.3.1	Adquisición de imágenes del método resultante	47
3.3.2	Procesamiento de imágenes del método resultante	48
3.3.3	Modelamiento 3D del método resultante	48
4	VALIDACIÓN DEL MÉTODO	49
4.1	Validación con imágenes de Iris 1	49
4.2	Validación con imágenes de Iris 2	53
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
6	CONCLUSIONES.....	58
7	BIBLIOGRAFÍA	60
8	ANEXOS	63
Anexo A.	Modificación enfoque Cámara Raspberry Pi	63
Anexo B.	Guía de instalación Raspberry.....	63
Anexo C.	Pasos conexión SSH.....	64
Anexo D.	Script de toma de imágenes.....	65
Anexo E.	Resultados fotos cámara 1	65
Anexo F.	Procesamiento Cámara 1	67
Anexo G.	Script de eliminación de imágenes.....	71

Anexo H.	Resultados de los Modelos 3D obtenidos de las imágenes de la cámara 1	73
H.1.	Modelamiento de imágenes con <i>CCD width</i> original	73
H.2.	Modelamiento de imágenes con diferentes <i>CCD width</i>	75
H.3.	Modelamiento variando la cantidad de imágenes.....	81
Anexo I.	Resultados de la Validación	82
I.1.	Conjuntos de imágenes Iris 1	82
I.2.	Resultados variación <i>CCD width</i> Iris 1	92
I.3.	Resultados variar combinaciones de imágenes Iris 1	97
I.4.	Conjuntos de imágenes Iris 2.....	102
I.5.	Resultados variación <i>CCD width</i> Iris 2	104
I.6.	Resultados variar combinaciones de imágenes Iris 2	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Diagramas de bloques de las tareas de inscripción, verificación e identificación (Figura tomada de [1])......	3
Ilustración 2: Fotografía del iris.	4
Ilustración 3: Correspondencia de imágenes mediante correspondencias Locales y consistencia geométrica (imágenes tomadas de [17])......	6
Ilustración 4: Proyección tridimensional para encontrar orientación de la cámara (ilustración tomada de [17])......	7
Ilustración 5: triangulación de los puntos correspondientes entre las imágenes tomadas por las diferentes cámaras(tomada de [17]).	7
Ilustración 6: Clasificación de Voxels mediante cálculo de profundidades, triangulando las vistas de las cámaras (imagen tomada de[18]).	8
Ilustración 7: Imagen $f(x,y)$ y su respectivo histograma $H(f)$	12
Ilustración 8: Filtros Gaussianos de 3×3 y 7×7 (imagen obtenida de [38])......	13
Ilustración 9: Componentes del sistema de adquisición de imágenes bidimensionales del iris	14
Ilustración 10: Esquema del hardware del sistema de toma de imágenes.	15
Ilustración 11: Computador de placa reducida Raspberry Pi 3 Model B, utilizado para controlar cámara Raspberry Pi.....	15
Ilustración 12: Cámara Raspberry Pi NoIR v1.3.....	17
Ilustración 13: Cámara Raspberry Pi NoIR v2.1	17
Ilustración 14: Lentes de realidad virtual.	18
Ilustración 15: Impresión 3D y modelo de estructura móvil.....	19

Ilustración 16: Componentes y ensamblaje de estructura móvil.	19
Ilustración 17: Impresión 3D y modelo de base de deslizamiento.	20
Ilustración 18: Impresión 3D y modelo de carcasa de cámara (imagen de la derecha obtenida de [41]).	20
Ilustración 19: Esquema de circuito eléctrico de iluminación.	21
Ilustración 20: Placa de circuito de iluminación.	22
Ilustración 21: Sistema de iluminación.	22
Ilustración 22: Estructura de toma de imágenes.	23
Ilustración 23: Sistema de adquisición de imágenes.	24
Ilustración 24: Sistema de adquisición de imágenes equipado en persona.	25
Ilustración 25: Ejemplo de imágenes tomadas con cámara 2 luz infrarroja y blanca lateral.	27
Ilustración 26: Ejemplo de encuadre del iris en imagen 2D.	28
Ilustración 27: Ejemplo eliminación de la pupila que contiene la reflexión de fuentes luminosas.	29
Ilustración 28: Ejemplo ecualizar imagen de Iris 2D.	29
Ilustración 29: Ejemplo suavizar imagen con filtro gaussiano de 10x10.	30
Ilustración 30: Encuadre cámara 2 para centrar la imagen en el iris.	30
Ilustración 31: Encuadre y suavizado gaussiano de una imagen tomada con la cámara 2.	31
Ilustración 32: Encuadre, suavizado gaussiano y eliminación de la pupila para una imagen capturada con la cámara 2.	31
Ilustración 33: Encuadre, suavizado gaussiano, eliminación de la pupila y ecualizado de la imagen capturada con la cámara 2.	32
Ilustración 34: Modelo 3D ruidoso del ojo sin procesamiento desde 3 ángulos diferentes.	35
Ilustración 35: Modelo ruido cono desde 3 ángulos diferentes.	36
Ilustración 36: Modelo de sección del iris con ruido cono. En (a) se muestra el modelo frontalmente. En (b) se muestra el modelo frontalmente con acercamiento a la zona del iris. En (c) se muestra el modelo lateralmente donde solo se aprecia el ruido cono.	40
Ilustración 37: Modelo 1/2 iris con ruido cono. En (a) y (b) se muestra la cara frontal del modelo, donde se ve la mitad del iris, desde diferentes ángulos. En (c) se muestra el modelo desde la cara lateral donde solo se ve ruido cono.	43
Ilustración 38: Modelo 1/2 iris ruidoso. En (a) se muestra el modelo desde la parte baja del iris. En (b) se muestra desde un ángulo lateral izquierdo. En (c) se muestra desde un ángulo derecho. ...	44
Ilustración 39: Modelo 3/4 iris ruidoso. En (a) y (b) se muestra el modelo del iris desde el frente. En (c) se muestra el modelo desde el lado donde se aprecia el ruido.	44
Ilustración 40: Modelo 3/4 iris desde diferentes ángulos con 1/4 del iris ruidoso.	45
Ilustración 41: Modelo iris. En (a) y (b) se muestra el modelo frontalmente donde se aprecian las texturas. En (c) se muestra el modelo lateralmente donde se aprecia la forma del iris.	46
Ilustración 42: Menor conjunto de imágenes 2D que permiten generar un modelo del iris en 3D.	46
Ilustración 43: Características del sistema de adquisición de imágenes utilizadas en el método resultante.	48
Ilustración 44: Combinación de procesamientos de imágenes utilizada en el método resultante.	48

Ilustración 45: Metodología de variación de parámetros para el modelamiento 3D.....	49
Ilustración 46: Ejemplo imagen del Iris 1 para validación, sin procesamientos.	50
Ilustración 47: Ejemplo imagen del Iris 1 para validación, con encuadre, suavizado, borrar pupila y ecualizado.	50
Ilustración 48: Ejemplo imagen del Iris 2 para validación, sin procesamientos.	53
Ilustración 49: Ejemplo imagen del Iris 2 para validación, con encuadre, suavizado, borrar pupila y ecualizado.	53
Ilustración 50: Modelo ruidoso Iris 2. En (a) se muestra el modelo desde la izquierda mostrando el ruido existente. En (b) se muestra el modelo frontalmente donde se aprecian algunos patrones del iris. En (c) se muestra el iris desde la derecha, mostrando la forma de iris.	55
Ilustración 51: Modelo 3/4 ruidoso Iris 2. En (a) se ve el modelo lateralmente, se muestra el ruido existente en este. En (b) se muestra el modelo frontalmente y se aprecia que en el centro de este se muestran la textura del iris. En (c) se muestra el modelo ligeramente inclinado.	55
Ilustración 52: Llaves para modificar enfoque (imágenes obtenidas en [42]).	63
Ilustración 53: Conexión cable cámara Raspberry Pi (imagen obtenida en [46]).	64
Ilustración 54: Imágenes cámara 1 iluminación blanca e infrarroja.	66
Ilustración 55: Imágenes cámara 1 iluminación infrarroja.	67
Ilustración 56: Ecualización cámara 1.	68
Ilustración 57: Encuadre cámara 1.	68
Ilustración 58: Encuadre y ecualización cámara 1.	69
Ilustración 59: Encuadrar y borrar pupila cámara 1.	69
Ilustración 60: Encuadrar, borrar pupila y ecualizar cámara 1.	70
Ilustración 61: Encuadrar, ecualizar y borrar pupila cámara 1.	70
Ilustración 62: Encuadrar, suavizar, borrar pupila y ecualizar cámara 1.	71
Ilustración 63: Modelo iris ruidoso.	79
Ilustración 64: Conjunto de imágenes de validación iris 1_1.	82
Ilustración 65: Conjunto de imágenes de validación iris 1_2.	83
Ilustración 66: Conjuntos de imágenes de validación iris 1_3.	84
Ilustración 67: Conjuntos de imágenes de validación iris 1_4.	85
Ilustración 68: Conjuntos de imágenes de validación iris 1_5.	86
Ilustración 69: Conjuntos de imágenes de validación iris 1_6.	87
Ilustración 70: Conjuntos de imágenes de validación iris 1_7.	88
Ilustración 71: Conjuntos de imágenes de validación iris 1_8.	89
Ilustración 72: Conjuntos de imágenes de validación iris 1_9.	91
Ilustración 73: Conjuntos de imágenes de validación iris 1_10.	91
Ilustración 74: Conjunto de imágenes de validación iris 2_1.	102
Ilustración 75: Conjunto de imágenes de validación iris 2_2.	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones de computador de placa reducida Raspberry Pi 3 Model B.	16
Tabla 2: Especificaciones técnicas de las Cámaras Raspberry Pi NoIR v1.3 y v2.1.	17

Tabla 3: Resultados del número de puntos y número de nubes con CCD width original sin y con procesamiento.....	35
Tabla 4: Resultados Imágenes sin procesamiento con diferentes CCD Width.	37
Tabla 5: Resultados Imágenes con encuadre diferentes CCD Width.....	38
Tabla 6: Resultados Imágenes con encuadre y suavizado diferentes para distintos valores de CCD Width.	38
Tabla 7: Resultados Imágenes con encuadre, suavizado y borrar pupila para diferentes CCD Width.	39
Tabla 8: Resultados de Imágenes con encuadre, suavizado, borrar pupila y ecualizado para diferentes valores de CCD Width.....	40
Tabla 9: Resultados en número de puntos y nubes al eliminar imágenes con encuadre, suavizado, borrar pupilas y ecualizado con CCD width 3.....	42
Tabla 10: Modelos que entregaron la mejor descripción del modelo o mayor cantidad de puntos, al variar el CCD width para cada conjunto de validación del Iris 1.....	51
Tabla 11: Modelos con mejor descripción de modelos de cada conjunto de validación del Iris 1.	52
Tabla 12: Modelos que entregaron la mejor descripción del modelo o mayor cantidad de puntos, al variar el CCD width para cada conjunto de validación del Iris 2.....	54
Tabla 13: Modelos con mejor descripción de modelos de cada conjunto de validación del Iris 2.	54
Tabla 14: Resultados cámara 1 IR con CCD width original.	74
Tabla 15: Resultados cámara 1 IR + Blanca con CCD width original.	74
Tabla 16: Resultados cámara 1 IR con encuadre con diferentes CCD width.....	75
Tabla 17: Resultados cámara 1 IR blanca con encuadre con diferentes CCD width.	75
Tabla 18: Resultados cámara 1 IR con encuadre y ecualizado con diferentes CCD width.....	76
Tabla 19: Resultados cámara 1 IR + blanca con encuadre y ecualizado con diferentes CCD width.	76
Tabla 20: Resultados cámara 1 IR con encuadre y borrar pupila con diferentes CCD width.	77
Tabla 21: Resultados cámara 1 IR + blanca con encuadre y borrar pupila con diferentes CCD width.	77
Tabla 22: Resultados cámara 1 IR con encuadre, borrar pupila y ecualizado con diferentes CCD width.	77
Tabla 23: Resultados cámara 1 IR +blanca con encuadre, borrar pupila y ecualizado con diferentes CCD width.....	78
Tabla 24: Resultados cámara 1 IR con encuadre, ecualizado y borrar pupila con diferentes CCD width.	78
Tabla 25: Resultados cámara 1 IR + blanca con encuadre, ecualizado y borrar pupila con diferentes CCD width.....	79
Tabla 26: Resultados cámara 1 IR con encuadre, suavizado, ecualizado y borrar pupila con diferentes CCD width.	80
Tabla 27: Resultados cámara 1 IR + blanca con encuadre, suavizado, ecualizado y borrar pupila con diferentes CCD width.	80

Tabla 28: Resultados eliminación de imágenes cámara 1 IR con encuadre, ecualizado y borrar pupila con CCD width 4,7.	81
Tabla 29: Resultados eliminación de imágenes cámara 1 IR + blanca con encuadre, ecualizado y borrar pupila con CCD width 2,5.	81
Tabla 30: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_1.	92
Tabla 31: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_2.	92
Tabla 32: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_3.	93
Tabla 33: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_4.	93
Tabla 34: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_5.	94
Tabla 35: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_6.	94
Tabla 36: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_7.	95
Tabla 37: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_8.	95
Tabla 38: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_9.	96
Tabla 39: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_10.	96
Tabla 40: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_1.	97
Tabla 41: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_2.	97
Tabla 42: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_3.	98
Tabla 43: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_4.	98
Tabla 44: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_5.	99
Tabla 45: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_6.	99
Tabla 46: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_7.	100
Tabla 47: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_8.	100
Tabla 48: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_9.	100

Tabla 49: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 1_10.	101
Tabla 50: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 2_1.	104
Tabla 51: Resultados variar combinaciones CCD width, en el conjunto de imágenes de validación iris 2_2.	104
Tabla 52: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 2_1.	105
Tabla 53: Resultados variar combinaciones de imágenes, en el conjunto de imágenes de validación iris 2_2.	105