



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN
INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: “SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES
TRIDIMENSIONALES PARA DETERMINAR LA ENFERMEDAD
DEL VALGUS INDEX DEL PIE HUMANO.”**

**AUTORES: MAYRA PAULINA MALLITASIG SINCHIGUANO
JUAN GABRIEL MALLITASIG SINCHIGUANO**

DIRECTOR: ING. EDDIE GALARZA

LATACUNGA

2017



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TRIDIMENSIONALES PARA DETERMINAR LA ENFERMEDAD DEL VALGUS INDEX DEL PIE HUMANO**” realizado por los señores **Mayra Paulina Mallitasig Sinchiguano y Juan Gabriel Mallitasig Sinchiguano**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **Mayra Paulina Mallitasig Sinchiguano y Juan Gabriel Mallitasig Sinchiguano** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 29 de Mayo del 2017



Ing. Galarza Zambrano Eddie Egberto.



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Mayra Paulina Mallitasig Sinchiguano**, con cédula de identidad N°050237838-3 y **Juan Gabriel Mallitasig Sinchiguano**, con cédula de identidad N°050298318-2, declaramos que este trabajo de titulación **“SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TRIDIMENSIONALES PARA DETERMINAR LA ENFERMEDAD DEL VALGUS INDEX DEL PIE HUMANO”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 29 de Mayo del 2017

Mayra Paulina Mallitasig Sinchiguano

C.C.: 050237838-3

Juan Gabriel Mallitasig Sinchiguano

C.C.: 050298318-2



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Mayra Paulina Mallitasig Sinchiguano** y **Juan Gabriel Mallitasig Sinchiguano**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TRIDIMENSIONALES PARA DETERMINAR LA ENFERMEDAD DEL VALGUS INDEX DEL PIE HUMANO”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 29 de Mayo del 2017

Mayra Paulina Mallitasig Sinchiguano

C.C.: 050237838-3

Juan Gabriel Mallitasig Sinchiguano

C.C.: 050298318-2

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mis padres Blanca y Fernando con mucho cariño y aprecio por todo el tiempo que me han dedicado en toda mi vida estudiantil, por su apoyo, comprensión y sobre todo por guiarme en el transcurso de mi vida y levantarme con su amor en los momentos que me he sentido derrotada ya que son un gran ejemplo para mí y mis hermanos.

A mi amorcito que con su apoyo he podido terminar con éxito mi proyecto de investigación ya que gracias a sus palabras de aliento a logrado brindarme la fuerza para seguir en adelante en mis estudios y finalizarlos con éxito, este logro es de los dos por eso te amo.

May

El presente proyecto de investigación se lo dedico principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi mami, María por demostrarme siempre su cariño, paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi papi, Cesar por ser el pilar más importante de mi carrera, porque a pesar de mis caídas siempre me motivo a seguir en adelante nunca desconfió de mí. A mi hermana, mi sobrino que siempre han estado junto a mí, brindándome su apoyo para seguir en adelante y luchando por cumplir mis metas. Y por último a la personita que me apoyo en las buenas y en las malas sin importar los problemas que tuvimos en la vida.

Juan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por darme la vida y a mis padres por dejarme estar junto a ellos compartiendo momentos de alegría y tristeza, pero siempre brindándonos el apoyo entre toda la familia para seguir en adelante y no rendirnos nunca.

Agradezco a todos los ingenieros que han formado un pilar importante para que pueda culminar con éxito mis estudios en especial al ingeniero Eddie Galarza, Cesar Naranjo y Franklin Silva por brindarme la oportunidad de presentar mi proyecto de investigación.

A mi compañero y amigo que, con su esfuerzo, dedicación y apoyo, hemos logrado culminar nuestros estudios a su vez nuestro proyecto de investigación con éxito.

May

Primeramente, agradezco a mis padres y a mi familia que de una u otra manera me apoyaron incondicionalmente a culminar mis estudios.

Agradezco a la Universidad por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas, así como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante.

Agradezco también a mi director de tesis Ing. Eddie Galarza por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo del proyecto de investigación.

Y para finalizar, agradezco a mis compañeros Danilo y Luis que fueron un punto muy importante en el cumplimiento de esta meta, así como también un agradecimiento inmenso a mi compañera y amiga de proyecto de investigación ya que con su apoyo y esfuerzo se logró culminar con éxito nuestro proyecto de investigación.

Juan

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1. PROBLEMA	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Antecedentes.....	3
1.4 Justificación	4
1.5 Importancia.....	5
1.6 OBJETIVOS	5
1.1.1. Objetivo General.....	5
1.1.2. Objetivos Específicos	5

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1 Estructura del pie y tobillo.....	6
2.2 Deformaciones del Pie.....	7
2.3 Valgus Índex o Índice Valgo.	10
2.3.1 Causas del Valgus Índex.....	11
2.3.2 Herramientas de detección de Valgus Índex	11
2.3.3 Índice Valgo	11
2.4 Pie Varo Vs Pie Valgo	13
2.5 Antecedentes Investigativos.	14

2.6	Problemas que Produce.	14
2.7	Cálculo Matemático	16
2.8	Sistema de Adquisición de Imágenes 3D	17
2.8.1	Imagen en 3D.	17
2.9	Eje tridimensional.	19
2.10	Representación tridimensional	20
2.11	Matrices de rotación	21
2.12	Proyecciones	22
2.13	Cámaras	23
2.13.1	Kinect1.....	23
2.13.2	Características Principales	24
2.13.3	Funcionamiento del sensor Kinect	26
2.14	Software para Adquisición de imágenes en 3D	27
2.14.1	Software Skanect.....	28
2.15	Software para el Procesamiento en 3D	30
2.15.1	Python	30
2.15.2	Software MeshLab.....	31

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO DEL SISTEMA.....	35
3.1	Diagrama de flujo general.....	35
3.2	Adquisición de Datos	36
3.3	Sistema de Archivos de imágenes.....	43
3.3	Sistema de Procesamiento 3D	55
3.4	Diseño de la Interfaz Gráfica	70

CAPÍTULO IV

4.	PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	72
4.1	Mediciones	72
4.2	Pruebas de operación.....	77
4.2.1	Pruebas de la adquisición de los datos	77
4.2.1	Pruebas realizadas en el procesamiento de imágenes	80
4.3	Análisis de los resultados	86
4.3.1	Análisis en la adquisición de los datos	86

4.3.1	Análisis en el sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales para la detección del valgus índice del pie.	88
4.4	Discusión de los resultados	97
4.5	Comprobación de la hipótesis	100

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
5.1.	Conclusiones	105
5.2	Recomendaciones	107

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
---	------------

ANEXOS	112
---------------------	------------

Anexo a: Instalación MYsQL

Anexo b: Instalación de librerías por el cmd

Anexo c: Instalacion de skanect

Anexo d: Instalación meshlab

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de deformaciones del pie.	8
Tabla 2. Índice Valgo.	12
Tabla 3. Acoplamiento de los diferentes músculos según exista desviación en Varo o Valgo.	14
Tabla 4. Características principales del sensor Kinect.	25
Tabla 5. Tipos de formatos con los que trabaja Meshlab.	33
Tabla 6. Valores correctos y fallidos de las pruebas realizadas para la adquisición de los datos en niños, jóvenes y adultos.	88
Tabla 7. Resultados del sistema de procesamiento de imágenes 3D para la detección del valgus índice en jóvenes y adultos del pie derecho e izquierdo.	89
Tabla 8. Resultados del sistema de procesamiento de imágenes 3D para la detección del valgus índice en pacientes niños del pie derecho e izquierdo.	92
Tabla 9. Resultados del sistema de procesamiento de imágenes 3D para la detección del valgus índice en una misma persona del pie derecho e izquierdo.	95
Tabla 10. Resultados totales de niños, jóvenes y adultos del sistema de procesamiento de imágenes 3D para la detección del valgus índice del pie derecho e izquierdo.	98
Tabla 11. Datos obtenidos de las pruebas realizadas con el sistema y el médico especialista para la determinación del valgus índice.	101
Tabla 12. Datos totales de las pruebas realizadas con el sistema y el médico especialista para la determinación del valgus índice y el porcentaje de aceptación del sistema.	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del Pie.....	6
Figura 2. Partes del tobillo.....	7
Figura 3. Pie valgo.....	10
Figura 4. Diferencia entre pie varo y valgo	13
Figura 5. Piernas en X de un paciente con pie valgo	15
Figura 6. Índice del Valgo en pie correcto.	16
Figura 7. Campos visuales del ser humano.....	18
Figura 8. Imagen renderizada.....	18
Figura 9. Eje tridimensional.	19
Figura 10. Coordenadas en un plano tridimensional.	20
Figura 11. Posición y orientación de un cuerpo en el espacio.....	21
Figura 12. Matriz de rotación.	22
Figura 13. Proyección de un objeto.	23
Figura 14. Kinect	24
Figura 15. Puntos que son registrados por el sensor Kinect.	27
Figura 16. Logo de Skanect.....	28
Figura 17. Captura de una imagen 3D	29
Figura 18. Logo de Python.	30
Figura 19. Imagen en Meshlab	32
Figura 20. Diagrama de flujo general.	36
Figura 21. Diagrama de adquisición de datos	37
Figura 22. Diagrama de bloques del sistema	38
Figura 23. Plataforma Giratoria	39
Figura 24. Cámara Kinect.....	39
Figura 25. Laptop i7 OMEN by HP	40
Figura 26. Pantalla del software Skanect	40
Figura 27. Pantalla principal del software Skanect.	41
Figura 28. Pantalla del nuevo escaneo del software Skanect.	41
Figura 29. Pantalla de adquisición de los datos.	42
Figura 30. Vista (A) frontal y (B) lateral de la imagen de la adquisición de los datos	42
Figura 31. Imagen final de la adquisición de los datos.	43
Figura 32. Diagrama de archivo de imágenes	44
Figura 33. Creación de la carpeta de archivo de imágenes.	45
Figura 34. Creación de las carpetas pie derecho y pie izquierdo.	45
Figura 35. Pantalla para guardar la imagen.	46
Figura 36. Parámetros para guardad una imagen.	47
Figura 37. Guardado de la imagen	48
Figura 38. Pantalla principal del software Meshlab	48
Figura 39. Pantalla principal del software Meshlab	49
Figura 40. Pantalla para escoger la carpeta de archivo de imágenes	49
Figura 41. Carpetas del pie izquierdo y derecho.	50
Figura 42. Imágenes en formato PLY.....	50
Figura 43. Imagen tridimensional en Meshlab	51
Figura 44. Pasos para el cambio de formato.....	51
Figura 45. Se muestra la pantalla para el cambio de formato	52

Figura 46. Se muestra la pantalla para escoger el formato XYZ.	53
Figura 47. Imágenes con formato XYZ.	54
Figura 48. Imagen con formato XYZ.	54
Figura 49. Diagrama de bloque del sistema de procesamiento de imagen 3D.	55
Figura 50. Imagen del pie en formato XYZ.	56
Figura 51. Datos de la imagen del pie.	57
Figura 52. Imagen del pie eliminadas las normales de las caras.	57
Figura 53. Datos de la imagen del pie eliminadas las normales de las caras.	58
Figura 54. Imagen del pie en Python.	59
Figura 55. Imagen del pie recortada.	59
Figura 56. Puntos en los extremos del plano en el que asienta el pie.	60
Figura 57. Presentación de los vectores (A y B).	61
Figura 58. Representación de los vectores (A, B, C).	62
Figura 59. Imagen del pie en 2D (A); (B) Rotación con el plano del pie perpendicular al eje Z.	64
Figura 60. Imagen del pie en 2D A) sin rotación en el eje x, B) con rotación en el eje x.	65
Figura 61. Imagen del pie en 3D alineada en los 3 ejes.	65
Figura 62. Imagen del pie en 3D recortada la base.	66
Figura 63. Imagen del pie en 2D: (A) plano xy; (B) plano xz; (C) plano yz.	67
Figura 64. Medida del eje longitudinal del pie en el plano xy.	67
Figura 65. Medida longitudinal entre el maléolo interno y externo del pie.	68
Figura 66. Medidas AB y AC del pie.	69
Figura 67. Medidas AB y AC en Python.	69
Figura 68. Interfaz gráfica del sistema de procesamiento de imágenes 3D	71
Figura 69. Medidas de la plataforma giratoria.	73
Figura 70. Distancias de ubicación de la cámara.	74
Figura 71. Medida del cuadro delimitador (Bounding box).	75
Figura 72. Distancias del alto, ancho y la profundidad del cubo.	75
Figura 73. Medidas del pie para el cálculo del valgus índice.	76
Figura 74. Colocación de los pacientes para realizar las pruebas de adquisición de los datos.	78
Figura 75. Pruebas realizadas para la adquisición de los datos.	79
Figura 76. Resultado final de las pruebas realizadas para la adquisición de los datos.	80
Figura 77. Prueba de eliminación de las normales a las caras 3D de la imagen tridimensional.	81
Figura 78. Prueba del recorte de la imagen tridimensional.	82
Figura 79. Pruebas de la rotación de la imagen en dos y tres dimensiones.	83
Figura 80. Prueba de eliminación de la base donde se encuentra asentado el pie tridimensional.	84
Figura 81. Pruebas realizadas en dos dimensiones para obtener las medidas del pie en niños y adultos.	85
Figura 82. Imagen con la posición correcta para la adquisición de los datos.	87
Figura 83. Resultados obtenidos del sistema para determinar la enfermedad del valgus índice en jóvenes y adultos del pie izquierdo (pie varo, pie valgo o pie normal).	90

Figura 84. Resultados obtenidos del sistema para determinar la enfermedad del valgus índex en jóvenes y adultos del pie derecho (pie varo, pie valgo o pie normal).	91
Figura 85. Resultados obtenidos del sistema para determinar el valgus índex en niños del pie izquierdo (pie varo, pie valgo o pie normal).	93
Figura 86. Resultados obtenidos del sistema para determinar la enfermedad del valgus índex en niños del pie derecho (pie varo, pie valgo o pie normal).	94
Figura 87. Resultados obtenidos del sistema para determinar el valor del valgus índex en el pie izquierdo de un paciente.	96
Figura 88. Resultados obtenidos del sistema para determinar el valor del valgus índex en el pie derecho de un paciente.	97
Figura 89. Resultados totales de la detección del valgus índex en niños del pie izquierdo y derecho.	99
Figura 90. Resultados totales de la detección del valgus índex en jóvenes y adultos del pie izquierdo y derecho.	99
Figura 91. Resultados totales de la detección del valgus índex en niños, jóvenes y adultos.	100

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realiza un sistema de procesamiento de imágenes tridimensional que permite obtener una gráfica del pie humano en 3 dimensiones, para ello se utiliza una cámara 3D (KINECT) y un software llamado SKANECT mediante la cual se obtiene la imagen del paciente en 3 dimensiones. La imagen tridimensional obtenida es importada al software MeshLab en el cual se realiza el procesamiento, cambio de formatos y edición de mallas triangulares. La cámara está conectada a la PC que incluye el software libre (PYTHON), este software permite realizar cálculos matemáticos para determinar si existe o no la enfermedad del valgus índice mediante la programación de la imagen adquirida con la cámara 3D. El proyecto consta de un aparato giratorio y un soporte que se utiliza para realizar el estudio de la enfermedad del pie, el paciente rota paulatinamente para que la cámara pueda adquirir con gran facilidad la imagen tridimensional del pie; Al obtener con la cámara la imagen del pie en 3D es enviada al computador para realizar el procesamiento la misma que está sujeta a cálculos matemáticos que identifiquen la enfermedad del valgus índice, los mismos que serán visualizados con el software libre en la PC; Se realizara una interfaz gráfica amigable para el especialista la misma que será fácil y sencilla de manejar, en la cual se visualizará la información acerca del paciente, la imagen del pie y el análisis de los datos. El sistema determinará automáticamente si el paciente posee o no la enfermedad del valgus índice.

PALABRAS CLAVE:

- **ÍNDICE VALGO**
- **SOFTWARE MESH LAB**
- **PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**
- **IMÁGENES 3D**
- **CÁMARA KINECT**

ABSTRACT

In the present work of titling, a three-dimensional image processing system is used to obtain a 3-D graphic of the human foot. A 3D camera (KINECT) and a software called SKANECT are used to obtain the image of a patient in 3D representation. The three-dimensional image obtained is imported into the MeshLab software in which the processing, formatting and editing of triangular meshes are performed. The camera is connected to the PC that includes free software (PYTHON), this software allows to perform mathematical calculations to determine whether or not valgus index disease exists by analyzing the image acquired with the 3D camera. The project includes a rotating apparatus and a support that is used to carry out the study of foot disease, the patient rotates gradually so that the camera can easily acquire the three-dimensional image of the foot; when obtaining the 3D image of the foot with the camera, is sent to the computer to carry out the mathematical calculations that identify the disease of the valgus index, the same that will be visualized in the developed system. A friendly graphical user interface is designed to make easy and simple to manage the information about the patient, the image of the foot and the analysis of the data will be displayed. The system will automatically determine whether or not the patient has the valgus index disease.

KEYWORDS:

- **VALGUS ÍNDEX**
- **SOFTWARE MESHLAB**
- **IMAGE PROCESSING**
- **3D IMAGES**
- **KINECT CAMERA**

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se encuentra dividido en cinco capítulos, en los cuales se encuentra detallada cada una de las actividades realizadas para la creación de la aplicación, indicando desde el inicio de la investigación realizada hasta la obtención del producto final que se obtiene del trabajo de investigación desarrollando los capítulos de la siguiente forma.

CAPÍTULO I

En el primer capítulo se describe a detalle el trabajo de investigación que se realizó iniciando con el planteamiento y formulación del problema, antecedentes, justificación e importancia y finalmente los objetivos que fueron planteados para para la ejecución de este trabajo de investigación.

CAPÍTULO II

En el capítulo II se detalla cada uno de los conceptos utilizados para la realización del proyecto como es el valgus index, el sistema de adquisición de imágenes 3D, la cámara que se utiliza y el software para el procesamiento en 3D.

CAPÍTULO III

Se describe el diseño del sistema comenzando con la instalación del software que será utilizado, así como la adquisición de datos, el diagrama de flujo del algoritmo realizado, el sistema de procesamiento 3D y el diseño de la interfaz gráfica.

CAPÍTULO IV

En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas de investigación realizada, pruebas de operación, las mediciones y la verificación de la hipótesis que fue planteada.

CAPÍTULO V

En el capítulo V se describen las conclusiones y recomendaciones que se obtienen del trabajo realizado.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El pie del ser humano cumple con dos funciones indispensables, llevar el peso del cuerpo y mantener el equilibrio cuando la persona está de pie. Los pies trabajan todo el día sea que el ser humano se encuentre corriendo, caminando, bailando, etc.

El esqueleto del pie se mantiene mediante elementos de soporte, generalmente tendinosos o músculo-ligamentosos y gracias a su elasticidad el pie puede adaptarse a todas las irregularidades de cualquier terreno que pueda pisar. (Jesús, 2006)

Existen diferentes deformaciones y malformaciones del pie. Las malformaciones son mostradas en el período embrionario del desarrollo, siendo una alteración anatómica; mientras que en una deformidad se encuentran presentes todos los huesos, músculos y diferentes estructuras del órgano que se encuentre deformado. Las deformidades del pie pueden afectar a diferentes articulaciones del cuerpo, así como también a los tejidos blancos circundantes dentro de las cuales se describen: pie equino, valgo, varo, cavo, abducto y zambo.

1.2 Formulación del problema

El pie valgo constituye una de las alteraciones del pie más frecuentes, especialmente en la población infantil, en la que se observa una prevalencia de más del 50 % en las revisiones. El pie valgo se relaciona íntimamente con la edad, por tanto un porcentaje muy elevado de niños (un 62%) comprendidos entre los 2 años y los 12 presentan esta anomalía, o bien de una forma pura, o bien como consecuencia de otra patología que hace que el pie se vuelque hacia adentro, como sucede en un Genu Valgus (Dorca Coll, Adellna; Céspedes Céspedes,

Tomás; Concustell Gonfaus, José; Sacristán Valero, Sergi; Dorca Coll, Rosa).

En la actualidad es una patología tan usual del pie, un problema pendiente difícil de solucionar, teniendo en cuenta que también ha sido y es, el saco donde va a parar cualquier alteración que desvíe el eje del retropié (Marcelino Reyes, Jesús, 1998).

Por ende, para disminuir y proceder a un tratamiento inmediatamente de esta enfermedad (pie valgo), se busca desarrollar un sistema que nos ayude a detectar rápidamente la enfermedad del valgus índex, ya que los sistemas tradicionales son fastidiosos y tediosos para las personas.

1.3 Antecedentes.

El pie valgo constituye una de las alteraciones del pie más frecuentes, especialmente en la población infantil, en la que se observa una prevalencia de más del 50 % en las revisiones escolares. Se observa que en distintas citas bibliográficas ningún autor define exactamente el pie valgo como una entidad propia, sino que suelen definirlo asociándolo a pies planos valgus, cavas-valgas, etc. Tampoco es frecuente que existan pautas terapéuticas explícitas para esta patología ni tampoco un cuadro clínico bien definido. Sin embargo, rescatamos la definición de un clásico alemán de ortopedia, el Dr. Petar Pitzan¹ autor del libro "Manual de Ortopedia publicado por primera vez el año 1936 y hoy en día actualizado (Dorca, 2014)

Distingue dos tipos de pies planos, diferenciados en cuanto a su origen, clínica, tratamiento y pronóstico:

- Pie plano congénito o pie plano osteo-articular.
- Pie plano adquirido, cuya clínica se correspondería al pie valgo.

Este autor manifiesta que el pie plano congénito es poco frecuente y que suele aparecer asociado a otras malformaciones congénitas, tales como pie zambo

(trastorno congénito más común de las piernas y puede ir de leve y flexible a grave y rígido.) y luxación de cadera; sin embargo describe el pie plano adquirido como el pie que presenta un valgo de talón por una disfunción de los tejidos blandos, presentando a la vez trastornos vasculares, de la sudoración y tumefacción de partes blandas (Dorca Coll, Adellna; Céspedes Céspedes, Tomás; Concustell Gonfaus, José; Sacristán Valero, Sergi; Dorca Coll, Rosa).

Diferentes investigaciones hacen referencias en artículos sobre el pie plano valgo infantil, las definiciones o nombre que le han otorgado a éste diversos autores. Referimos algunos como ejemplo: Pie plano estático. Piátkowski (1977). Vida/ (1977); Pie en pronación. Gíannestras (1979). Tachdjian (1976); Pie plano esencial. Viladot (1979); Pie valgo flexible. B/eck (1977). Mereday (1972). Tax (1977); Pie plano hípermóvil. Borde/on (1983). Harrís (1948). Scranton (1981). A su vez se describe el pie plano valgo infantil como el pie que en situación de apoyo sufre un colapso del arco plantar, recuperándose en descarga, y que presenta una o varias de estas tres deformaciones: Valgo de talón, abducción del ante pie y/o supinación del ante pie.

El pie valgo se produce cuando se da una desviación lateral del talón pudiendo ir asociado al pie plano. Se caracteriza por un descenso de la bóveda y un desplazamiento de cargas hacia la zona medial del pie (Fleming, 2015).

1.4 Justificación

En el presente proyecto se desarrollará un sistema de procesamiento de imágenes tridimensional, para obtener la imagen del pie humano en 3 dimensiones, para lo cual usaremos una cámara 3D que permita adquirir datos, los cuales serán evaluados para determinar si la persona sufre o no de la enfermedad del valgus índex. Existe un gran porcentaje de la población que pisa de forma inadecuada sin ser consciente de ello, por tal motivo pueden llegar a padecer ciertas enfermedades en el pie, una de ellas es el valgus índex, las personas que sufren de este tipo de enfermedad, tienden a obtener una deformación mínima en

la curvatura de la pisada, la cual puede desembocar en problemas mayores, sobre todo si la persona que la presenta, acostumbra a practicar deporte de manera frecuente. El sistema a desarrollarse ayudará a detectar correctamente y en un menor tiempo posible si una persona padece de esta enfermedad.

1.5 Importancia

El sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales nos permite realizar el análisis del valgus index, siendo esto muy importante, por lo que el especialista a tratar la enfermedad obtendrá la imagen clara e intuitiva para el análisis respectivo, además el sistema es importante porque evita que tanto el especialista como el paciente se estresen al momento de realizar el examen, por lo tanto el sistema a desarrollarse puede ser una ayuda para los médicos.

1.6 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Diseñar e Implementar un sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales para determinar la enfermedad del valgus index del pie humano.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Investigar sobre la enfermedad del valgus index (índice valgo).
- Investigar la forma en que se realiza el procesamiento de imágenes tridimensionales.
- Determinar la operación de las cámaras 3D y el software para adquirir las imágenes.
- Diseñar e implementar un sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la aplicación, enfocadas a evaluar la existencia de la enfermedad del valgus index.
- Realizar mediciones a personas relacionadas con el valgus index.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Estructura del pie y tobillo.

El pie se encuentra formado por 26 huesos pequeños que se articulan entre sí en forma de bóveda y que se distribuyen de la siguiente manera (ver Figura 1):

- Retropié: dentro de él se encuentra el calcáneo y el astrágalo
- Mediopié: está formado por el escafoides, cuboides y 3 cuñas.
- Antepié: formado por 5 metatarsianos y 14 falanges.

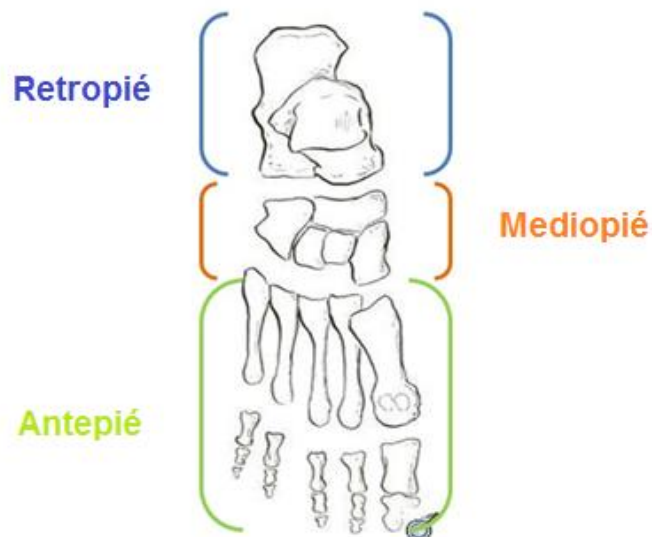


Figura 1: Estructura del Pie.

El tobillo está compuesto por la parte baja de la tibia y el peroné formando el maléolo interno y maléolo externo respectivamente con la combinación de los

huesos del retropié calcáneo y astrágalo. La Figura 2 presenta las partes de los huesos que constituyen el tobillo.



Figura 2: Partes del tobillo.

Fuente: (Asencio, 2015).

2.2 Deformaciones del Pie

La deformación del pie presenta una integridad anatómica en la cual se encuentran presentes los huesos músculos y las diferentes estructuras del órgano deformado, su fallo es producido durante el período fetal y afecta a la evolución y posterior crecimiento de estructuras ya formadas y completas; dentro de lo cual pueden aparecer por ejemplo un pie equino varo, pie valgo o una luxación de cadera, etc. (Jesús, 2006)

La deformidad del pie puede afectar a una o varias articulaciones, ya que si la rigidez y la estructura de la deformidad es mayor, más difícil será corregirla. En la Tabla 1 se describe la deformación, características y una ilustración de los tipos de las imperfecciones del pie.

Tabla 1.

Tipos de deformaciones del pie.

DEFORMACIÓN	CARACTERÍSTICA	ILUSTRACIÓN
Pie equino	La totalidad del pie está sostenida en posición de flexión plantar con relación a la pierna, el paciente realiza la marcha con el apoyo del antepié.	
Pie valgo	Su talón está en eversión y su parte distal se encuentra en eversión y abducción.	
Pie varo	El talón está invertido y la parte distal del pie se encuentra en aducción e inversión, siendo los límites de la dorsiflexión normales.	
Pie cavo	Este pie presenta un aumento anormal de la altura de la bóveda plantar en el mediopié por flexión acentuada de los metatarsianos.	

CONTINÚA 

	
<p>Pie plano</p> <p>En este pie la bóveda plantar es demasiado baja o está desaparecida, creando un área de máximo contacto de la planta del pie con el suelo.</p>	
<p>Pie adducto</p> <p>Consiste en una desviación interna o medial de los metatarsianos y de los dedos, con supinación leve o moderada del antepié, estando el talón en posición neutra o moderado valgo.</p>	
<p>Pie zambo:</p> <p>No es una deformidad embrionaria, pero si en desarrollo</p>	

2.3 Valgus Índice o Índice Valgo.

El valgus índice surge como consecuencia de una desviación lateral del talón produciendo que la bóveda plantar cuando se encuentre cargada caiga debido a la falta de tensión de los tendones y músculos, volviendo al pie plano. Siendo el ángulo de talón con la pierna superior a los 5°, con el talón desviado hacia afuera. En ocasiones provoca la caída del astrágalo hacia abajo y hacia dentro que arrastra consigo el escafoides; y aparecen entonces dos o tres maléolos en el borde interno del pie.

El valgus índice se caracteriza por ser un trastorno funcional del retropié que cursa con una desviación del eje del talón hacia fuera respecto a la vertical o línea de Helbing. Esta desviación se hace más acentuada en el momento de apoyo plantar total como se muestra en la Figura 3, apareciendo el estrés osteo-articular y ligamentoso en pronación irreversible que le da aspecto de pie plano (Valgus Index, s.f.).



Figura 3: Pie valgo

Fuente: (Maicas, 2016)

El valgus índice es más relacionado con la edad de la persona, su mayor porcentaje se encuentra en niños entre edades de 2 a 12 años siendo de una

forma pura o por consecuencia de alguna otra patología que hace que el pie se vuelva hacia dentro.

El pie valgo puede ser reconocido por los padres de los niños que con mayor frecuencia acuden donde un médico especialista, pero muy pocos son los padres que llevan a sus hijos al médico o van por que padecen alguna enfermedad. El pie valgo es una patología frecuente y está asociada a diferentes alteraciones del pie y de la pierna, que en otros casos es detectada en la vida adulta del paciente que posee la deformidad, siendo responsable de complicaciones articulares, sinovitis, etc.

2.3.1 Causas del Valgus Índice

Según (CYPBA, 2015) dentro de las causas que son relacionadas con el pie valgo se encuentran las siguientes:

- Debilidad de los ligamentos plantares, que son incapaces de mantener la correcta posición del pie.
- Compensación del talón de una mala posición del antepie.
- Insuficiencias musculares que no mantengan bien alineado el talón.

2.3.2 Herramientas de detección de Valgus índice

La huella del pie de cada ser humano puede dar información al médico sobre el tipo de patología estructural o funcional del pie como de la marcha. Existe una forma para medir la patología de una huella, pero en el caso del pie valgo se mide mediante la utilización del índice de valgo, a continuación, se describe la forma en cómo medir la patología.

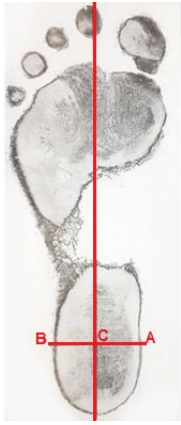
2.3.3 Índice Valgo

Esta forma de medir el pie indica la posición del talón con respecto al eje longitudinal del pie. Para lo cual se debe conseguir el eje longitudinal del pie, marcando el punto más sobresaliente en la zona anterior como posterior y en la

zona lateral del pie. Este eje puede pasar por el segundo dedo o puede pasar entre el primero o el segundo dedo, así será un eje fisiológico.

Tabla 2.

Índice Valgo.

Parámetro:	Índice valgo
Obtención de:	<ul style="list-style-type: none"> Huella
Herramientas:	<ul style="list-style-type: none"> Podoscopio convencional o digital, huella de tinta y photopodogram
Definición:	<ul style="list-style-type: none"> Indica la relación o posición del calcáneo con el eje longitudinal del pie en la estática
.	<ol style="list-style-type: none"> Obtener el eje Maléolo (AB), determinada por: <ol style="list-style-type: none"> La proyección del maléolo interno (A) sobre la huella La proyección del maléolo externo (B) sobre la huella Obtener el eje longitudinal del pie, determinado por: <ol style="list-style-type: none"> El punto de la parte trasera del pie inferior La posición de la primera falange del segundo dedo del pie Obtener el punto de intersección (C) del eje Malleolus y el eje longitudinal del pie <p>Índice valgo = $[(0,5 * AB-AC) / AB] * 100\%$</p>
criterios:	<ul style="list-style-type: none"> Índice valgus <11%: Tendencia a la parte trasera del pie varo 11% <Índice Valgus <14%: rango de normalidad Índice valgo > 14%: Tendencia a la parte trasera del pie valgo
Imagen:	

Fuente: (Innovative Treatment of Foot Disorders, s.f.).

2.4 Pie Varo Vs Pie Valgo

El Pie varo es una deformidad del pie en la cual el talón (retropié está invertido) y la parte distal del pie se encuentra en aducción e inversión, orientando la planta del pie hacia dentro, apoyando el borde extremo y los últimos dedos anular y meñique, asociado a una lateralización de las piernas y rodillas. Está asociado al pie cavo-varo y pie equino-varo. El talón mira hacia dentro y se dirige hacia dentro.

El pie valgo es una alteración funcional del pie, esto se debe a un exceso de elasticidad de los tendones y músculos de control y aguante del arco plantar. El pie mira hacia fuera y se dirige hacia fuera.

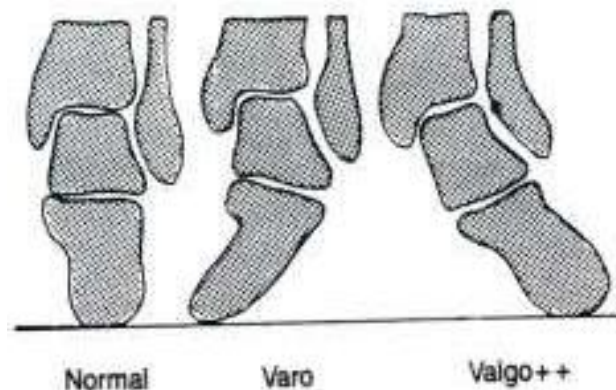


Figura 4. Diferencia entre pie varo y valgo

Fuente: (traumatológica, 2017)

En la Tabla 3 se presentan los diferentes músculos que intervienen tanto en la desviación en varo y valgo.

Tabla 3.

Acoplamiento de los diferentes músculos según exista desviación en Varo o Valgo.

	CADERA	RODILLA	PIE
VARO	Glúteo mayor Glúteo menor Aductores	Tensor de la fascia lata Bíceps crural Cuádriceps – vasto externo	Peroneo lateral largo Peroneo lateral corto Tríceps sural
VALGO	Glúteo mayor Glúteo menor Pelvitrocantéreos	Pata de ganso Cuádriceps-vaso interno	Tibial posterior Tibial anterior Tríceps sural

Fuente: (Jesús, 2006)

2.5 Antecedentes Investigativos.

a) Etiología

Generalmente se trata de un defecto de construcción de la articulación subastragalina. “El ligamento interóseo, que es deficiente: demasiado largo o demasiado laxo, deja girar el calcáneo en pronación y las superficies encaradas se adaptan a una nueva posición” (Lelièvre, 1993, p. 424).

b) Manifestaciones clínicas

Si el valgo persiste al andar, se produce un desgaste demasiado interno del talón. La reducción es favorecida con el uso de zapatos con contrafuertes laterales. Puede ser necesario también uso de órtesis plantares con cuñas supinadoras posteriores o taloneras supinadoras (Goldcher, 1992).

2.6 Problemas que Produce.

El valgus índex ocasiona grandes molestias en pacientes desde el cansancio y fatiga en los pies y piernas, problemas en la espalda hasta deformaciones en casos avanzados en los que las rodillas se meten hacia dentro dando una apariencia de piernas en X como se indica en la Figura 5.

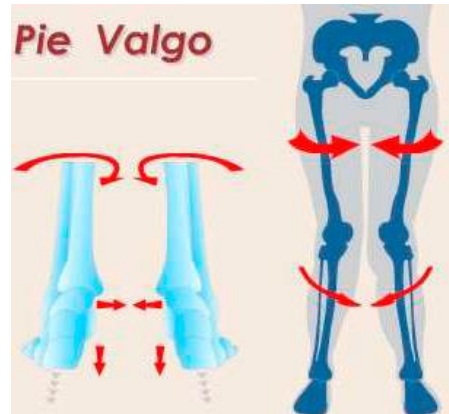


Figura 5. Piernas en X de un paciente con pie valgo

Fuente: (Alviflex, 2013)

Según estudios realizados, dentro de los síntomas que posee una persona en una edad adulta al tener el pie valgo son los siguientes:

- Su pisada es direccionada hacia la parte interna del talón, de ese modo el desgaste del zapato es de ese lado,
- El valgus índice genera una importante carga en el pie, pudiendo producir con el tiempo deformidades como dedos de garra o juanetes.
- Sufren de pies cansados y poseen fatiga frecuente al caminar.
- El arco del pie de una persona con pie valgo suele lucir normal cuando la persona está sentada o acostada; pero al ponerse de pie y caminar la apariencia es de un pie plano.
- Al practicar deporte una persona con pie valgo sufre dolor y molestias en la rodilla y talones.
- Pérdida de amortiguación al caminar haciendo que esta tarea se convierta en una molestia.

2.7 Cálculo Matemático

Al obtener la huella plantar del paciente, existen diferentes métodos para calcular el eje longitudinal del pie en una persona que no posee ninguna deformidad en el pie; pero una persona que posee un pie valgo se debe realizar el siguiente análisis calculando el índice valgo. Se debe utilizar la regla de Perthes la cual permite realizar medidas de las desviaciones en varo o valgo del talón. Trasladando los maléolos interno y externo al fotopodograma. La traslación del maléolo interno se marca en el fotopodograma como punto A y la traslación del maléolo externo se enmarca entonces una línea que une ambos puntos. El punto de intersección entre dicha línea y el eje longitudinal se denomina C. La medida que fue tomada sobre la línea AB es la distancia que separa la porción del maléolo interno del borde externo de la huella en su intersección con la línea trazada, como se indica en la Figura 6.

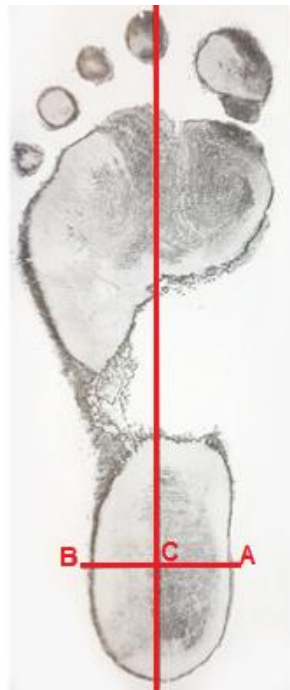


Figura 6. Índice del Valgo en pie correcto.

Fuente: (Morell, 2012)

Para lo cual se emplea la ec. 1:

$$\text{Índice Valgo} = \left[\frac{0.5AB - AC}{AB} \right] * 100 \quad \text{ec.1}$$

Una vez realizado el cálculo del índice valgo hay que tener en cuenta que un pie que está sano posee un rango de normalidad de 11% al 14%, si los valores son superiores posee una tendencia a poseer un pie valgo o si sus valores son inferiores una tendencia a tener un pie varo.

2.8 Sistema de Adquisición de Imágenes 3D

El proceso de la creación de gráficos tridimensionales comienza con saber que existen tres medidas el ancho, el largo y la profundidad y que el único mundo 3D es el mundo real. Se debe tener en cuenta que una computadora puede únicamente simular gráficos en 3D y que la misma únicamente posee dimensiones en alto y ancho conocidas como resolución; en un computador esto se refiere al número de píxeles por pulgada que puede mostrar en la imagen. Se debe tener presente que los gráficos tridimensionales inician con un grupo de fórmulas matemáticas y pueden ser convertidos en gráficos 3D.

2.8.1 Imagen en 3D.

Para que se dé una visión tridimensional los datos de la imagen de los dos deben combinarse en el cerebro como se observa en la ver Figura 7. Una imagen 3D es una imagen superpuesta, proyectada en ángulos diferentes que el cerebro recibe de cada uno de los ojos, al notar que se trata de dos imágenes que no están perfectamente alineadas entre sí, intenta alinearlas instintivamente para lo cual sitúa una en primer plano y la otra en segundo plano. El resultado que se obtiene simula la sensación de profundidad, dando la impresión de que una imagen está más próxima que la otra.

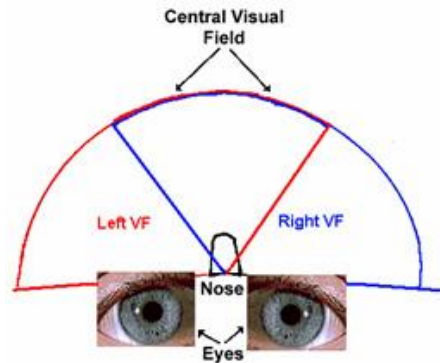


Figura 7. Campos visuales del ser humano.

Fuente: (Aznar, 2017)

El proceso para transformar un modelo 3D en una imagen 3D se denomina renderización, la renderización como se muestra en la Figura 8 es el proceso por el cual se genera una imagen tridimensional mediante un modelo utilizando una aplicación de computador. El modelo es una descripción tridimensional de objetos en un lenguaje de programación o estructura de datos rigurosamente definidos. Estas imágenes son procesadas y comparadas por el cerebro, el cual acaba creando una sensación espacial. (Alegsa, 2017)

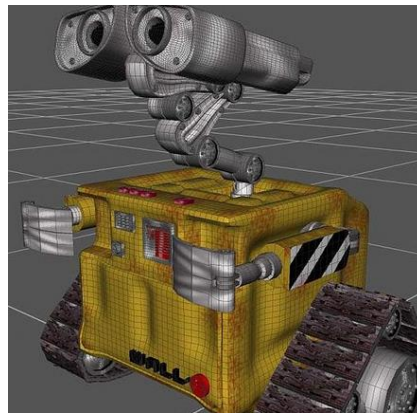


Figura 8. Imagen renderizada

Fuente: (Arquigrafico, 2016)

2.9 Eje tridimensional.

En física, geometría y análisis matemático, un objeto es tridimensional si tiene o posee tres dimensiones; es decir cada uno de sus puntos puede ser localizado dentro de un rango por ejemplo altura, anchura y profundidad. Indicando tres ejes dentro del plano lo cual se observa en la figura 9.

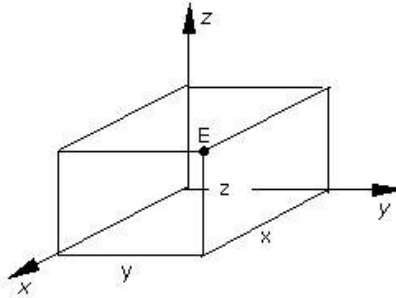


Figura 9. Eje tridimensional.

Fuente: (Chile, 2017)

El sistema de ejes XYZ es un conjunto de tres líneas que se juntan en un único punto de forma perpendicular, cada una de ellas dispuestas según las dimensiones del espacio. Este sistema es imaginario y su ubicación y orientación son totalmente arbitrarias, se define dependiendo de sus necesidades. En el universo 3D se quiere definir una escena tridimensional de forma exacta; para lo cual se utiliza coordenadas que indican la posición de los objetos respecto a un sistema de coordenadas XYZ.

A la hora de modelar o construir una imagen en 3D se utilizan herramientas que permitan hacerlo sin necesidad de conocimientos en geometría ya que el ordenador va guardando la información referente a las coordenadas de posición de los distintos elementos de la escena con respecto al sistema XYZ; en geometría, la coordenada X será la distancia que separa al objeto del origen de coordenadas únicamente con las dimensiones del eje X. La coordenada Y podrá ser la altura que separa al objeto del punto de origen teniendo en cuenta las dimensiones del eje Y; y a su vez, de la misma manera, el eje Z. Los tres ejes no

son elementos del mundo real, son una creación del ser humano para poder trabajar en tres dimensiones, también para representar las posiciones y dimensiones de los cuerpos en el espacio en un determinado tiempo o momento (ver figura 10).

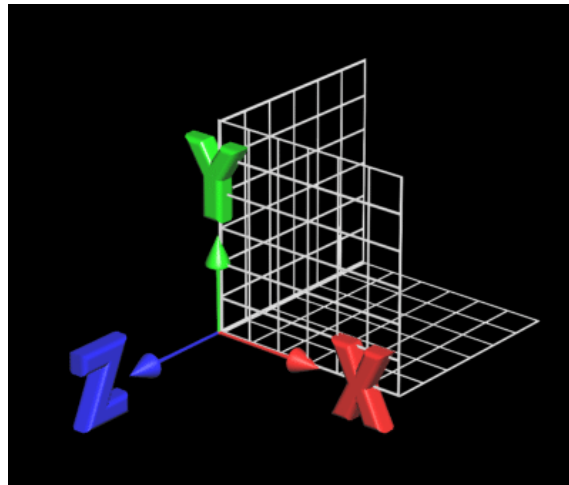


Figura 10. Coordenadas en un plano tridimensional.

Fuente: (Sastre, 1998)

2.10 Representación tridimensional

El movimiento de un cuerpo en el espacio se indica dando la localización de un punto particular sobre el mismo en cada instante de tiempo siendo la referencia el sistema de coordenadas. Para describir la posición y orientación del cuerpo se utiliza el sistema de coordenadas con un eje ortogonal y se especifica la localización de cada punto mediante el vector de posición, donde cada coordenada expresa de la ubicación del punto seleccionado sobre cada eje como se muestra en la figura 11.

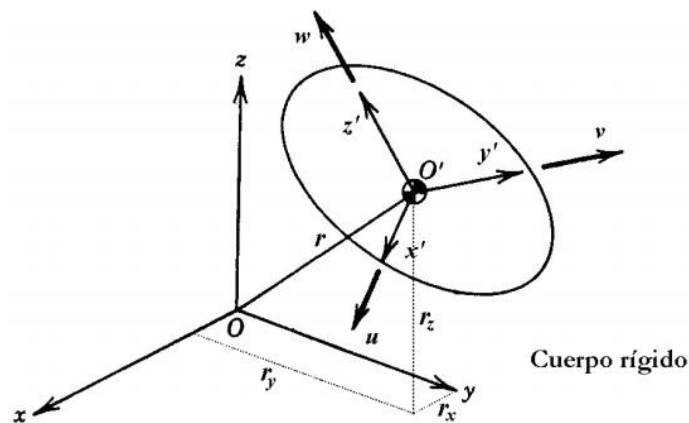


Figura 11. Posición y orientación de un cuerpo en el espacio.

Fuente: (Jaramillo, 2005)

Para realizar la orientación de un cuerpo en el espacio se asigna un sistema de coordenadas que está ligado al cuerpo fijo y luego se describe la relación espacial entre ese sistema de coordenadas y el sistema de coordenadas de referencia. Se describe este sistema de coordenadas ligado al cuerpo como vectores unitarios de sus ejes principales en términos del sistema de coordenadas de referencia, como resultado se obtiene un vector unitario de dimensión 3×1 para cada eje de coordenadas ligado al cuerpo. Se expresan los vectores como una matriz, la cual se denomina matriz de rotación, ya que describe la relación entre la orientación de un sistema de coordenadas relativo a un sistema de coordenadas de referencia.

2.11 Matrices de rotación

Las matrices de rotación definen algebraicamente lo que es una rotación en un espacio 3D considerando un ángulo en el que está girando como se observa en la figura 12. Estas matrices tienen las siguientes propiedades:

- Sus ejes de coordenadas son vectores ortogonales (forman un ángulo de 90° entre ellos).
- Su determinante es 1.
- Al ser ortogonal su matriz transpuesta es igual a su inversa.

- Si se saca la normal de cualquier vector perteneciente a la matriz resultado es 1 dando como resultado una matriz unitaria.

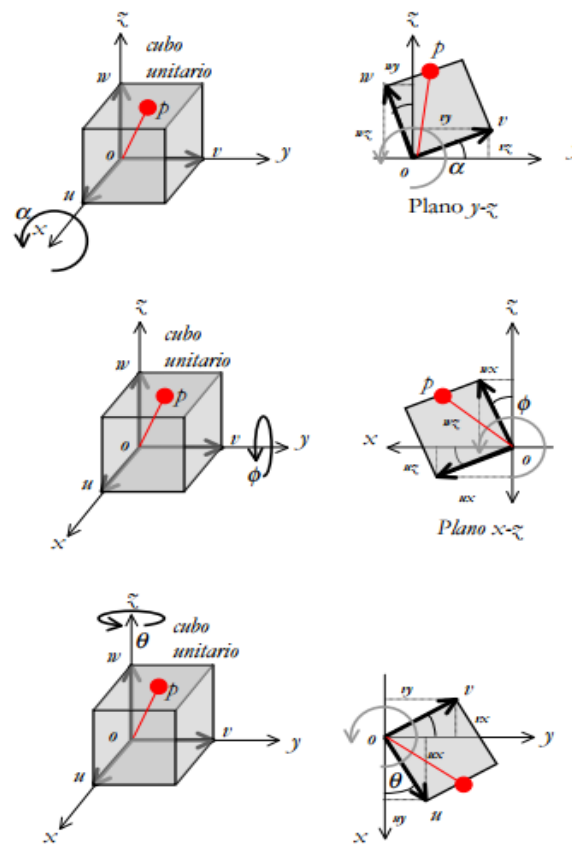


Figura 12. Matriz de rotación.

Fuente: (Jaramillo, 2005)

La matriz de rotación de describe de la siguiente manera ec2:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad \text{ec2.}$$

2.12 Proyecciones

Una proyección es una manera de tomar el objeto y crea una sombra de este en el espacio dimensional inferior. A su vez definen una correspondencia entre

rectas que pasan por un punto centro de proyección y un plano de proyección, donde el plano de proyección serán los puntos de la imagen (ver figura 13).

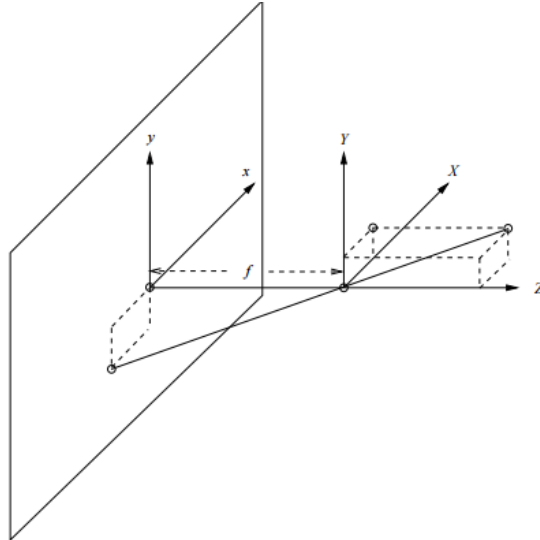


Figura 13. Proyección de un objeto.

Fuente: (Ronda, 2013)

Para ello se toman sistemas de referencia ortogonales, correspondiendo al sistema de referencia en el espacio, tiene origen en el centro de proyección y el eje z es perpendicular al plano de proyección, su sistema de referencia (x, y) en el plano tiene origen en el punto más cercano al centro de proyección y los ejes espaciales X e Y son tomados en paralelo.

2.13 Cámaras

2.13.1 Kinect1

Kinect es un complemento de la Xbox que literalmente convierte al ser humano en un “Controlador” y son sus manos, cabeza, pies, cara y voz, controlando la aplicación que se encuentre ejecutando en el Xbox. Funciona por medio de cámaras, sensores y micrófonos de alta tecnología que detectan cualquier

movimiento que se realice con el cuerpo y lo interpreta en acciones que harán las personas (Sebastián, 2010).

Posee un flujo de datos de 320x240 a 16 bits de profundidad y 640x480 32 bit de alto color y envían datos con una frecuencia de actualización de 30 fps., lo que significa que algunos movimientos tendrán unos frames de retraso, sobre todo cuando se trata de juegos con una alta tasa de refresco.

Kinect (antes Natal) posee una cámara RGB, micrófono multi-array, sensor de profundidad y un procesador personalizado que establece el software patentado, proporcionando la captura de movimientos de todo el cuerpo en tres dimensiones, reconocimiento facial y capacidades de reconocimiento de voz (BOXBYTE, 2010). El micrófono de Kinect permite a la Xbox 360 llevar a cabo la localización de la fuente acústica y la supresión de ruido ambiental, permitiendo participar en el chat de Xbox Live sin utilizar auriculares. En la Figura 14 se presenta un sensor Kinect el cual puede ser utilizado como parte de los video juegos o como para realizar un escáner 3D.



Figura 14. Kinect

Fuente: (Gadget, 2017)

2.13.2 Características Principales

En la Tabla 4 se presentan las características del Kinect.

Tabla 4.

Características principales del sensor Kinect.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
SENSORES	<ul style="list-style-type: none"> • Lentes de color y sensación de profundidad • Micrófono multi-arreglo • Ajuste de sensor con su motor de inclinación • Totalmente compatible con las consolas existentes de Xbox 360.
CAMPO DE VISIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Campo de visión horizontal: 57 grados • Campo de visión vertical: 43 grados • Rango de inclinación física: \pm 27 grados • Rango de profundidad del sensor: 1,2 - 3,5 metros
DATA STREAMS (FLUJO DE DATOS)	<ul style="list-style-type: none"> • 320 x 240 a 16 bits de profundidad @ 30fps • 640 x 480 32-bit de color @30fps • Audio de 16-bit @ 16 kHz

CONTINÚA 

<p>SISTEMA DE SEGUIMIENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rastrea hasta 6 personas, incluyendo 2 jugadores activos • Rastrea 20 articulaciones por jugador activo • Capacidad para mapear jugadores activos en Live Avatars
<p>SISTEMA DE AUDIO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Chat en vivo y voz dentro del juego (requiere Xbox Live Gold) • Sistema de cancelación de eco que aumenta la entrada de voz • Reconocimiento de voz múltiple

FUENTE: (BOXBYTE, 2010).

2.13.3 Funcionamiento del sensor Kinect

Kinect es un periférico para video juegos que no posee mandos o controles gracias al sensor de movimiento, es creado por Microsoft y previsto para ser utilizado con Windows 8. Este sensor tiene una cámara periférica que se conecta a la video consola Xbox 360 reconociendo gestos y objetos estáticos dentro del campo visual del Kinect. La cámara a su vez posee un sensor de profundidad y un micrófono multi-array bidireccional que captura el movimiento de los cuerpos en 3D, tiene reconocimiento facial y acepta comandos de voz. La cámara posee dos funcionalidades principales y esenciales, genera un mapa 3D que tiene para su campo visual y reconoce humanos en movimiento con esquemas en escalas

grises y de diferentes segmentos de las articulaciones. El seguimiento esquelético que posee Kinect permite reconocer o registrar a las personas para seguir el movimiento de las mismas como se muestra en la figura 15.

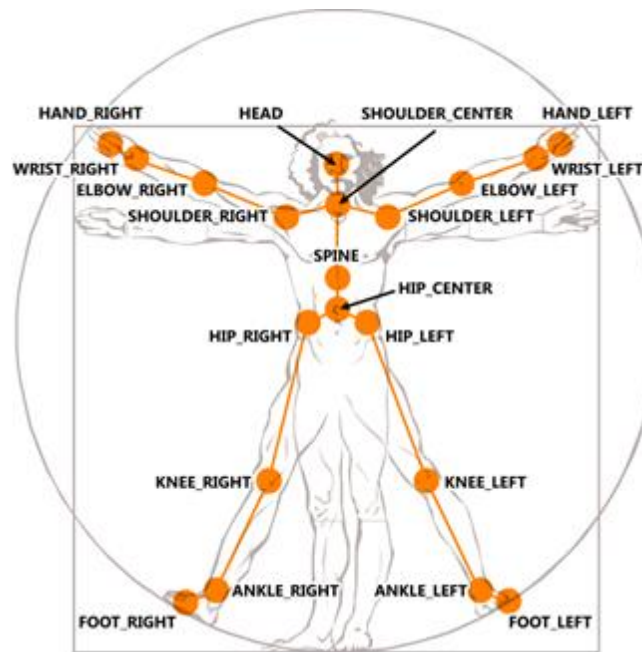


Figura 15. Puntos que son registrados por el sensor Kinect.

Fuente: (Deltakosh, 2017)

2.14 Software para Adquisición de imágenes en 3D

Existen diferentes técnicas de proceso y análisis de imagen para entornos científicos e industriales, utilizando sistemas de visión por computador. Para lo cual, dentro de este proyecto, se han utilizado los programas como el Skanect, Python y Meshlab para realizar la adquisición y el procesamiento de las imágenes 3D.

2.14.1 Software Skanect

El software Skanect cuyo logo se presenta en la Figura 16, realiza la captura de un modelo 3D a todo color de un objeto, persona o una habitación, siendo fácil y posible la captura de la imagen. Skanect transforma su Estructura del sensor, Microsoft Kinect o la cámara Asus Xtion en un escáner 3D de bajo coste capaz de crear mallas 3D de escenas reales en unos pocos minutos.

A diferencia de las tecnologías existentes, Skanect puede adquirir información 3D sobre una escena de hasta 30 fotogramas por segundo. Sólo hay que mover alrededor de su estructura el sensor, Kinect o Xtion para capturar un conjunto completo de puntos de vista, y se obtendrá una malla 3D en tiempo real.



Figura 16. Logo de Skanect.

Fuente: (3D Scanning, 2011)

El software Skanect posee algunas características de las cuales se destacan las siguientes:

- Captura de imágenes en 3D
- Procesamiento en 3D con software Skanect



Figura 17. Captura de una imagen 3D

Fuente: (3Ders, 2015)

El software Skanect posee ventajas de las cuales se pueden destacar las más importantes tales como:

- **Mejor Rapidez:** A diferencia de las tecnologías existentes, Skanect puede adquirir información 3D de alta densidad sobre una escena de hasta 30 fotogramas por segundo. Sólo hay que mover alrededor de su Estructura del sensor, Kinect o Xtion para capturar un conjunto completo de puntos de vista, y se obtendrá una malla 3D en tiempo real.
- **Facilidad de uso:** Skanect hace que sea fácil el escaneado 3D, proporcionando un conjunto de escenarios predefinidos, apto para la mayoría de los casos de uso.
- **Ahorrar de dinero:** El ahorro que presenta la Skanect es beneficioso ya que aprovecha cámaras 3D de uso común, como la Estructura del sensor, Microsoft Kinect y Asus Xtion. Para un uso personal y aficionado, incluso se puede descargar una versión gratuita de Skanect la cual tiene una mejor resolución con ayuda de la licencia.

2.15 Software para el Procesamiento en 3D

2.15.1 Python

Es un lenguaje de programación poderoso y muy fácil de aprender, cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel, así como un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos. La figura 18 presenta el logo de Python.



Figura 18. Logo de Python.

Fuente: (Python , 2017)

Python, al ser un lenguaje de alto nivel trabaja con matrices y tablas de forma eficiente, ejecuta cálculos estadísticos avanzados y aplica algoritmos de Machine Learning sobre estructuras.

A continuación, se listan las principales características que este lenguaje posee:

- Posee un pseudo-código natural de Python.
- Se pueden crear programas de propósito general y se puede desarrollar páginas web.

- Puede funcionar en diferentes plataformas como Linux, Windows, OS/2, Play Station, etc.
- Posee un lenguaje orientado a objetos construido sobre objetos que combinan datos y funcionalidades.
- Programación en alto nivel.
- Se puede instalar el lenguaje Python dentro un programa C/C++ y de esta manera ofrecer las facilidades de scripting.
- Contiene una gran cantidad de librerías, tipos de datos y funciones incorporadas en el propio lenguaje, que ayudan a realizar diversas tareas.
- Python posee una sintaxis visual, ya que maneja una sintaxis indentada con márgenes que es de carácter obligatorio. Para separar los bloques de código en Python se debe tabular hacia dentro.

2.15.2 Software MeshLab

MeshLab es un software 3D avanzado de procesamiento de imágenes tridimensionales con estructura de malla que está orientada a la gestión y procesamiento de grandes mallas no estructuradas y proporciona un conjunto de herramientas para la edición, la limpieza, la depuración, la inspección, y la conversión de este tipo de mallas. MeshLab es software libre y de código abierto, sujeto a los requisitos de la Licencia Pública General de GNU (GPL), versión 2 o posterior, y se utiliza como un paquete completo y una biblioteca de alimentación de otro software. Es bien conocido en los campos más técnicos de desarrollo 3D y manejo de datos. Normalmente, las mallas son generadas mediante escaneo 3D, utiliza la librería portable VGCLib para el procesamiento de mallas y a su vez cuenta con funciones como edición de relieves, selección y unión de vértices, alineamiento de mallas, etc.

Los filtros automáticos de limpieza de malla incluyen la eliminación de duplicados, aristas no múltiples, vértices, caras y nulos. MeshLab también incluye

un sistema interactivo directo pintura-en-malla que permite cambiar de forma interactiva el color de una malla, para definir las selecciones y para suavizar directamente el ruido y las características pequeñas como se observa en la Figura 19.

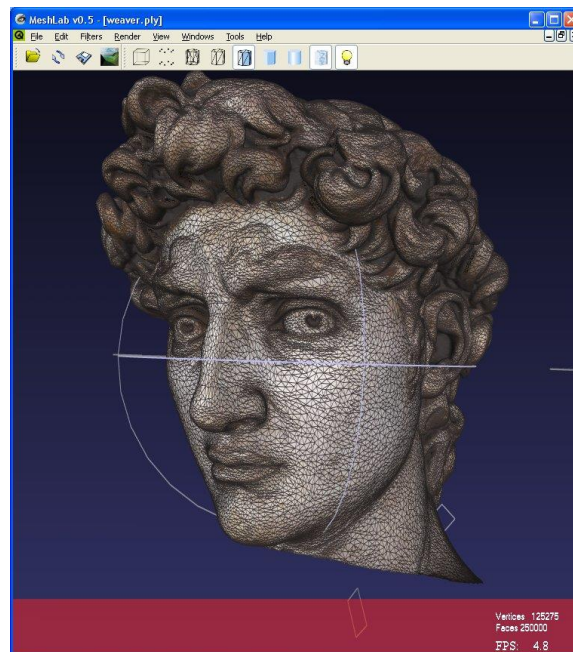


Figura 19. Imagen en Meshlab

Fuente: (Meshlab, 2017)

Dentro de los formatos que MeshLab puede importar son: XYZ, GTS, TRI, ASC, X3D, X3DV, VRML, ALN, PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, PTX, V3D, PTS y APTS. Para exportar los archivos de MeshLab se puede hacer con los siguientes formatos: OFF, OBJ, 3DS, PLY, STL, U3D, IDTF, X3D, COLLADA, VRML, DXF y GTS.

a) Tipos de formatos

A continuación, se presenta la tabla donde se encuentran las diferentes asociaciones del programa Meshlab con formatos de archivos que se encuentran

en diferentes bases de datos. Meshlab se puede utilizar para realizar la conversión de formato de archivo ya que trabaja con diferentes archivos.

Tabla 5.

Tipos de formatos con los que trabaja Meshlab

TIPO DE FORMATO	CARACTERÍSTICAS
.MTL	<ul style="list-style-type: none"> • Archivo de imágenes 3D.
.OBJ	<ul style="list-style-type: none"> • Archivos de objeto 3D de frente de onda. • Formato utilizado para un objeto tridimensional que contiene coordenadas 3D (línea poligonal o puntos). • Contiene un formato de imagen 3D estándar que puede ser exportado y abierto por varios programas de edición de imágenes 3D
.OFF	<ul style="list-style-type: none"> • Asociados con vectores gráficos, formatos 3D. • Nombre completo es Object File Format.
.PLY	<ul style="list-style-type: none"> • Polygon Model File. • Describe un objeto como conjunto de vértices, caras y otros elementos, junto con propiedades como el color y la dirección normal que se puede unir a estos elementos.
.STL	<ul style="list-style-type: none"> • Archivo informático de diseño asistido por computador. • Define geometría de objetos 3D excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas.
.3DS	<ul style="list-style-type: none"> • Extensión de archivo usada por algunos programas de simulación y gráficos 3D.

b) FORMATO PLY

Para la realización del proyecto se utilizó el formato PLY, el cual fue desarrollado para almacenar datos tridimensionales de escáner 3D. El formato de almacenamiento de datos soporta una descripción relativamente simple de un único objeto, a su vez se puede almacenar una variedad de propiedades, incluyendo color, transparencia, normales, textura y valores de los datos.

La ventaja de un formato PLY es que puede ser cambiado a un formato de coordenadas (x, y, z) que luego servirán para el procesamiento de imágenes.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA

Para la realización del proyecto se presenta la adquisición de datos mediante la cámara Kinect y software Skanect, posteriormente las imágenes serán almacenadas en el sistema de archivo de imágenes, a su vez el sistema de procesamiento 3D se lo realiza en el software Python, por último se presenta la interfaz gráfica para visualizar los resultados obtenidos. A continuación, se presentan los diagramas de bloques que se emplearon en la programación del proyecto, además en este capítulo se incluyen fórmulas que fueron utilizadas para los cálculos respectivos del Valgus Índice.

3.1 Diagrama de flujo general

En la Figura 20 se presenta el diagrama de flujo general del sistema desarrollado, el cual permite adquirir los datos de la imagen tridimensional por medio de la plataforma giratoria la cámara Kinect y el software Skanect, posteriormente se realiza un sistema de archivo de imágenes donde se guardaran las imagen tomadas anteriormente, seguidamente se utiliza el software MeshLab el cual nos permitirá realizar el cambio de formato de la imagen de ply a xyz, dicha imagen será guardada en el sistema de archivo de imágenes. Para el procesamiento de imágenes se usa el software Python donde se realiza recortes y orientación de la imagen, después se procede a realizar el cálculo del valgus índice que determina si el paciente padece o no la enfermedad del valgus índice, los resultados obtenidos anteriormente serán mostrados en la interfaz gráfica.

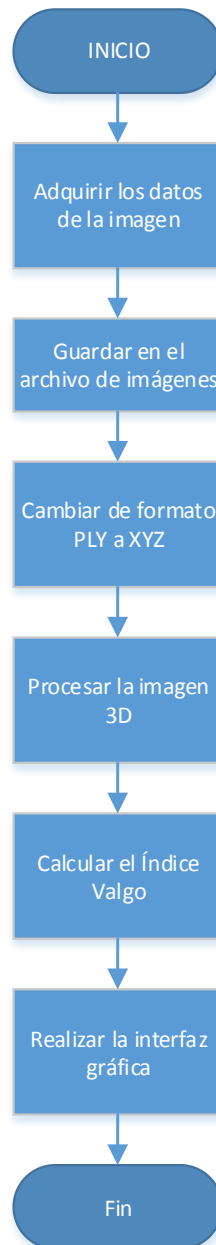


Figura 20. Diagrama de flujo general.

3.2 Adquisición de Datos

Para realizar el diseño del sistema de adquisición de datos del procesamiento de imágenes tridimensionales, se presenta el diagrama de flujo en la Figura 21. La persona o el paciente deben colocarse en la posición correcta para proceder a realizar la adquisición de datos, luego se procede a abrir el software Sknect donde

se verifica si se encuentra activo el sensor Kinect, después se realiza el ajuste de los parámetros del software Skanect para la obtención de la imagen, la misma que deberá estar bien escaneada, caso contrario se procede a realizar nuevamente el escaneo del pie.

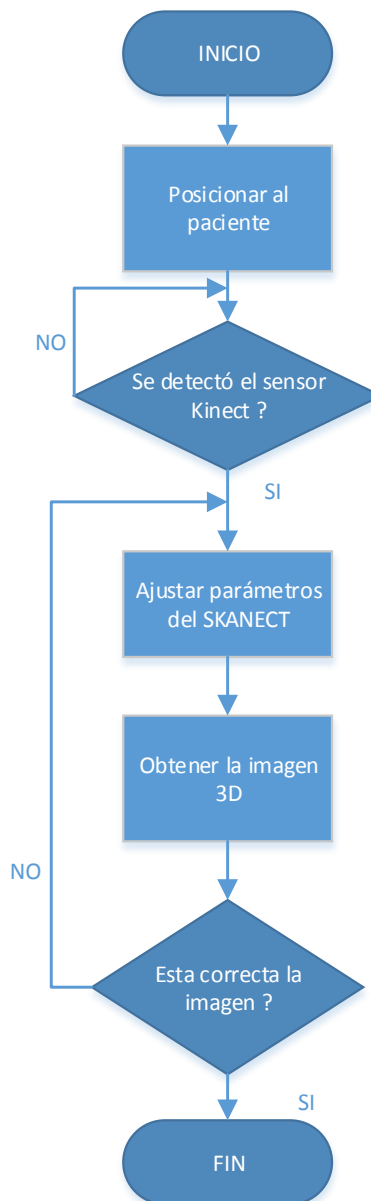


Figura 21. Diagrama de adquisición de datos

El sistema desarrollado cuenta con una plataforma giratoria, una cámara y una computadora en la cual se realiza el procesamiento de la imagen. En la Figura 22 se representa un diagrama de bloques esquemático de la adquisición de los datos.



Figura 22. Diagrama de bloques del sistema

La plataforma giratoria y el soporte que se muestran en la Figura 23, permite que el paciente al subirse sobre el soporte giratorio pueda rotar su pie 360 grados en su propio eje para calcular la imagen tridimensional, a su vez el soporte ayuda a equilibrar y obtener excelentes imágenes en 3D del pie, las mismas que posteriormente serán utilizadas en el sistema procesamiento de imágenes tridimensionales.



Figura 23. Plataforma Giratoria

La cámara Kinect permite adquirir los datos de la imagen, los cuales serán enviados a una computadora para posteriormente visualizar, procesar y determinar la existencia o no de la enfermedad del Valgus Índex (ver Figura 24).



Figura 24. Cámara Kinect

Fuente: (Gadget, 2017)

Para realizar el procesamiento de la imagen se ha utilizado la computadora que se muestra en la en la Figura 25, en la cual se instalaron los programas como: MeshLab y Python que son utilizados en el procesamiento de imágenes tridimensionales y a su vez Skanect software que se utiliza para la adquisición de los datos.



Figura 25. Laptop i7 OMEN by HP

Fuente: (Yamoshi, 2017)

Para la adquisición de los datos por medio del software Skanect se realizan los siguientes pasos:

1. Se procede a abrir el software Skanect.

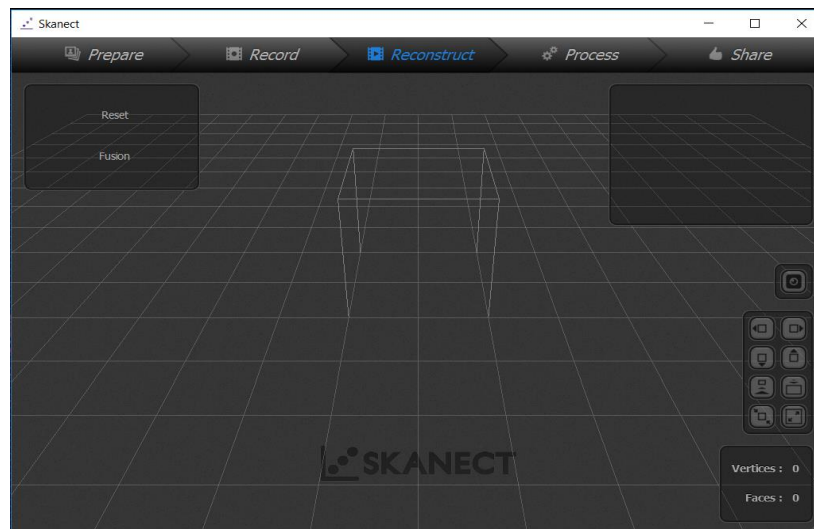


Figura 26. Pantalla del software Skanect

2. Se debe verificar que el sensor Kinect este correctamente instalado para comenzar el escaneo como se muestra en la Figura 27.

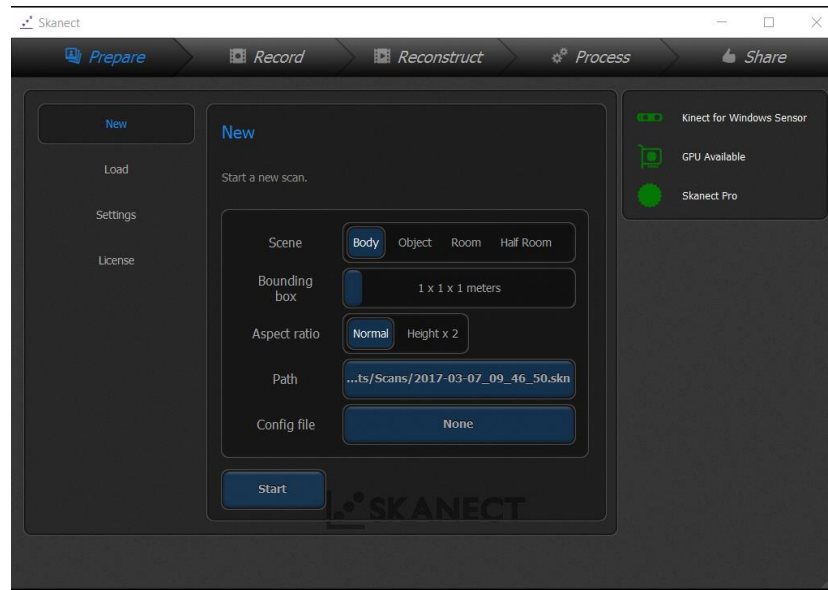


Figura 27. Pantalla principal del software Skanect.

3. Se debe escoger la opción New. Se obtiene una nueva pantalla con los parámetros que se presentan en la Figura 28. Se debe ajustar los parámetros para la adquisición de los datos, los que son: Scene, Bounding box y Aspect ratio y después dar un clic en Star.

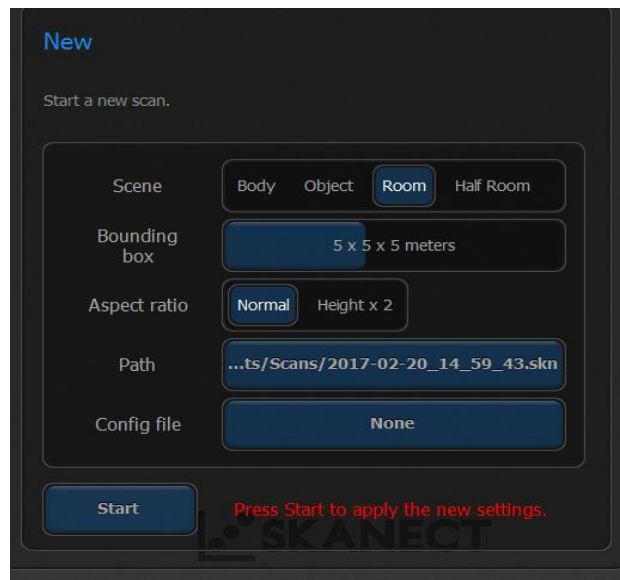


Figura 28. Pantalla del nuevo escaneo del software Skanect.

4. Posteriormente se visualiza un botón rojo el cual es pulsado para observar y visualizar la adquisición de los datos.

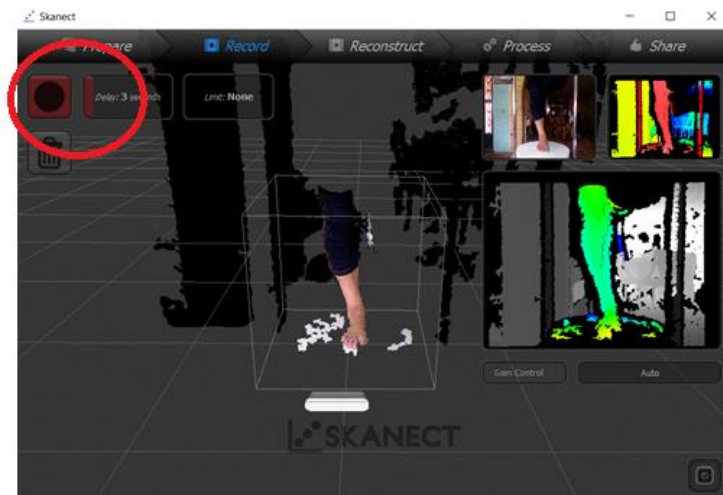


Figura 29. Pantalla de adquisición de los datos.

5. En la Figura 30 se muestra las imágenes de la adquisición de la imagen que se obtiene de un paciente al momento de rotar el pie en la máquina que gira 360°.

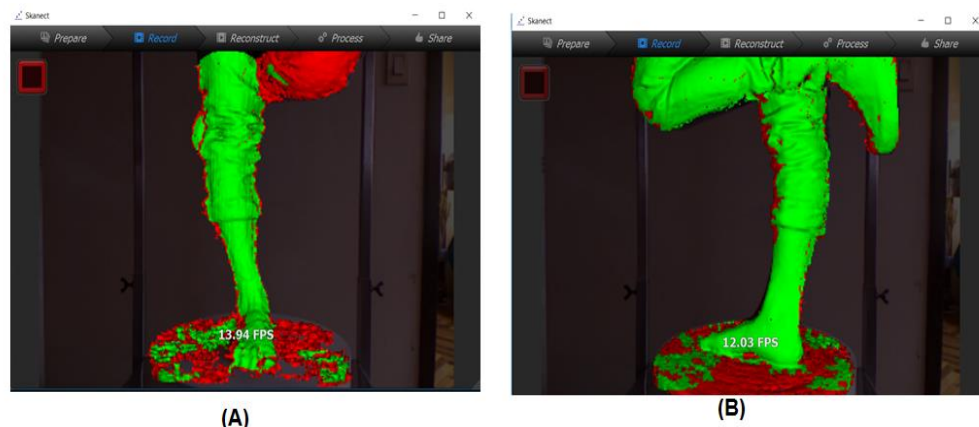


Figura 30. Vista (A) frontal y (B) lateral de la imagen de la adquisición de los datos

6. Para terminar con la adquisición de los datos se presenta el resultado final de la adquisición de los mismos (Figura 31).

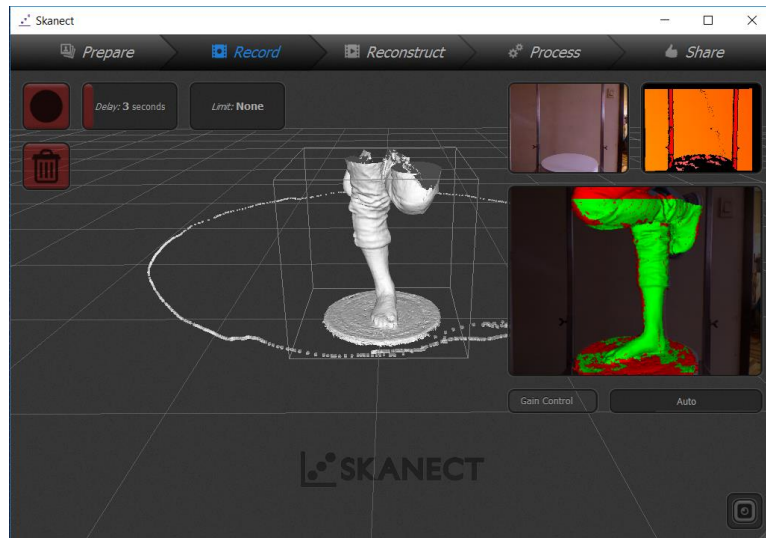


Figura 31. Imagen final de la adquisición de los datos.

3.3 Sistema de Archivos de imágenes

El sistema de archivo de imágenes se realiza a partir de la adquisición de los datos o de la imagen 3D. Se crea una carpeta en la cual se guardan las imágenes que posteriormente son obtenidas con el software Skanect, mediante el uso del mismo se procede a guardar la imagen en el sistema de archivo de imágenes, dicha imagen que luego será importada por el software MeshLab para después ser cambiada del formato PLY al formato XYZ la misma que será guardada nuevamente en el sistema de archivo de imágenes. En la Figura 32 se muestra el diagrama de flujo que representa los pasos que se realizan para obtener el sistema de archivo de imágenes.

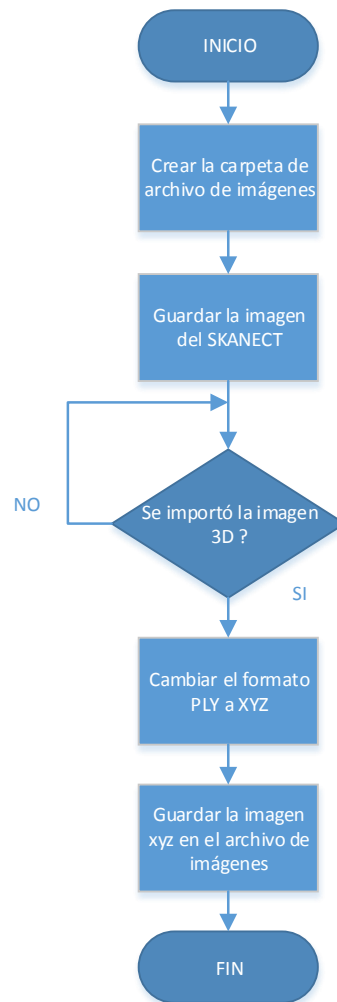


Figura 32. Diagrama de archivo de imágenes

Para la obtención del archivo de imágenes hay que crear una carpeta con el nombre de archivo de imágenes, como se muestra en la Figura 33.

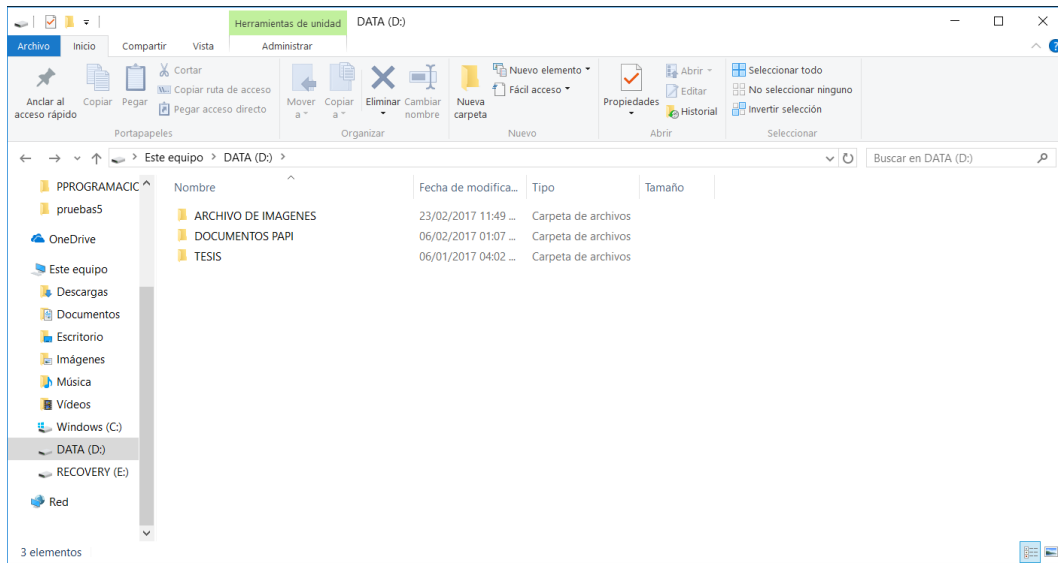


Figura 33. Creación de la carpeta de archivo de imágenes.

Al crear la carpeta de adquisición de imágenes se procede a incluir dos carpetas que son utilizadas para guardar las imágenes tridimensionales en formato PLY obtenidas anteriormente por el software Skanect tanto del pie derecho como del pie izquierdo; así como también las imágenes emitidas por el software MeshLab que están en formato XYZ. En la Figura 34 se observa la creación de las carpetas para el pie derecho e izquierdo.

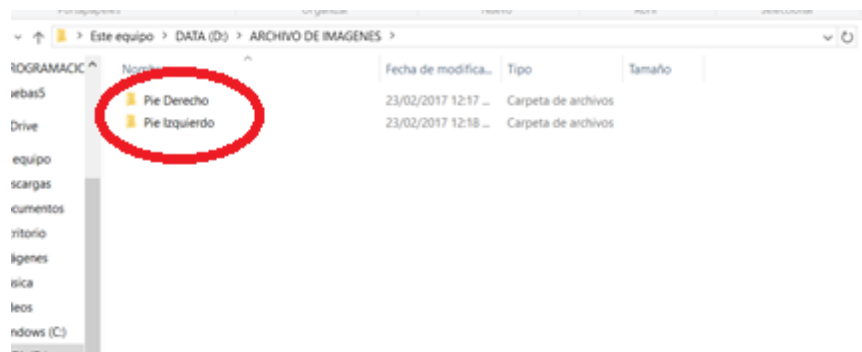


Figura 34. Creación de las carpetas pie derecho y pie izquierdo.

Una vez creada las carpetas para el sistema de archivo de imágenes, se guarda la imagen obtenida por el software Skanect en la carpeta archivo de imágenes, luego al seleccionar Share se puede guardar la imagen tal como se muestra en la Figura 35.

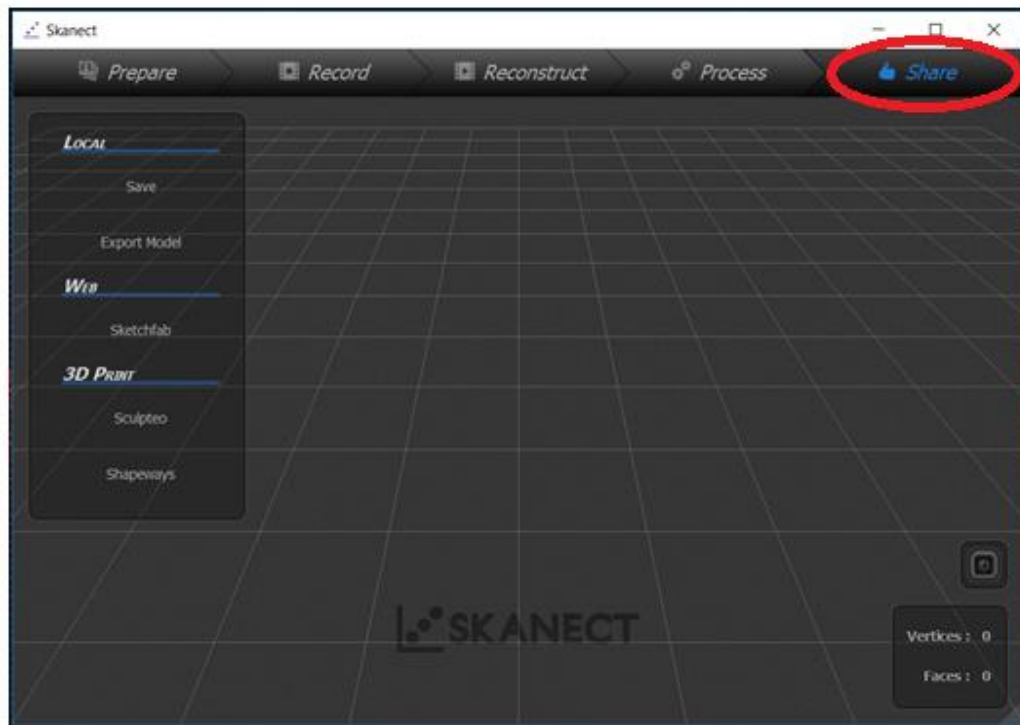


Figura 35. Pantalla para guardar la imagen.

Seguidamente se exporta el modelo, para lo cual se despliega una nueva pantalla como se muestra en la Figura 36.

Para exportar el modelo o la imagen obtenida se colocan los siguientes parámetros:

- Formato: PLY.
- Colores: por vértice
- El número de caras: todas (las que adquiere el escaneo)
- Escala: metros

- Color de espacio: sRGB

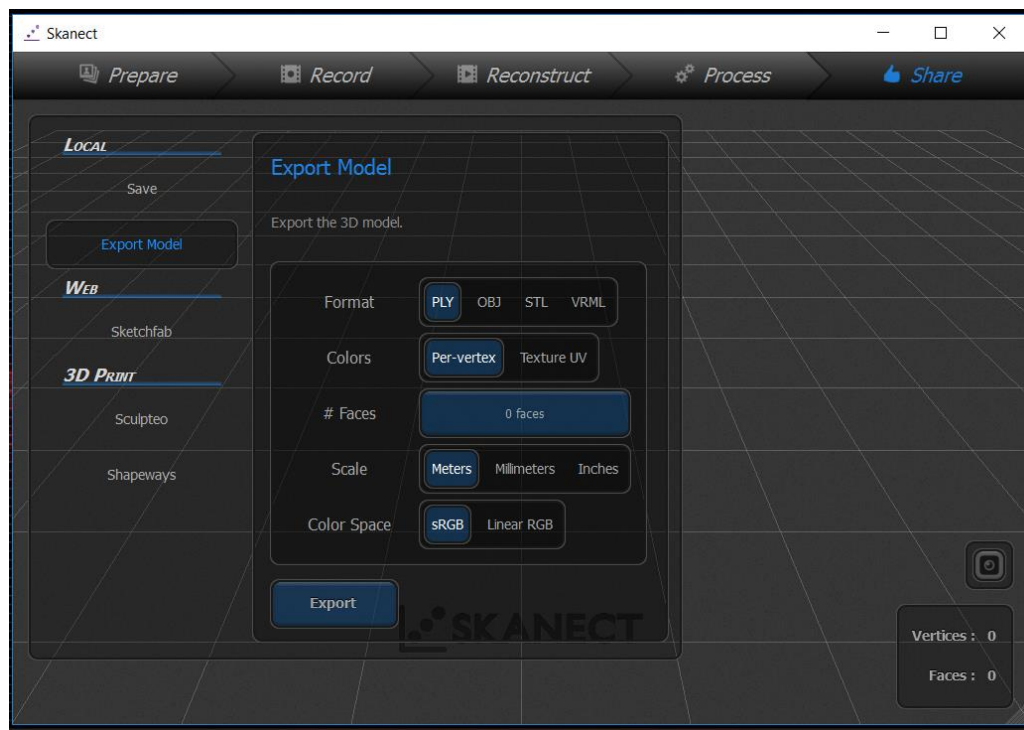


Figura 36. Parámetros para guardad una imagen.

Una vez establecido los parámetros del guardado de la imagen, seleccionar el icono Export, aparece una nueva pantalla donde se encuentra la carpeta de archivo de imágenes (Figura 37). Por último, escogemos la carpeta requerida, colocamos el nombre del paciente y se presiona guardar.

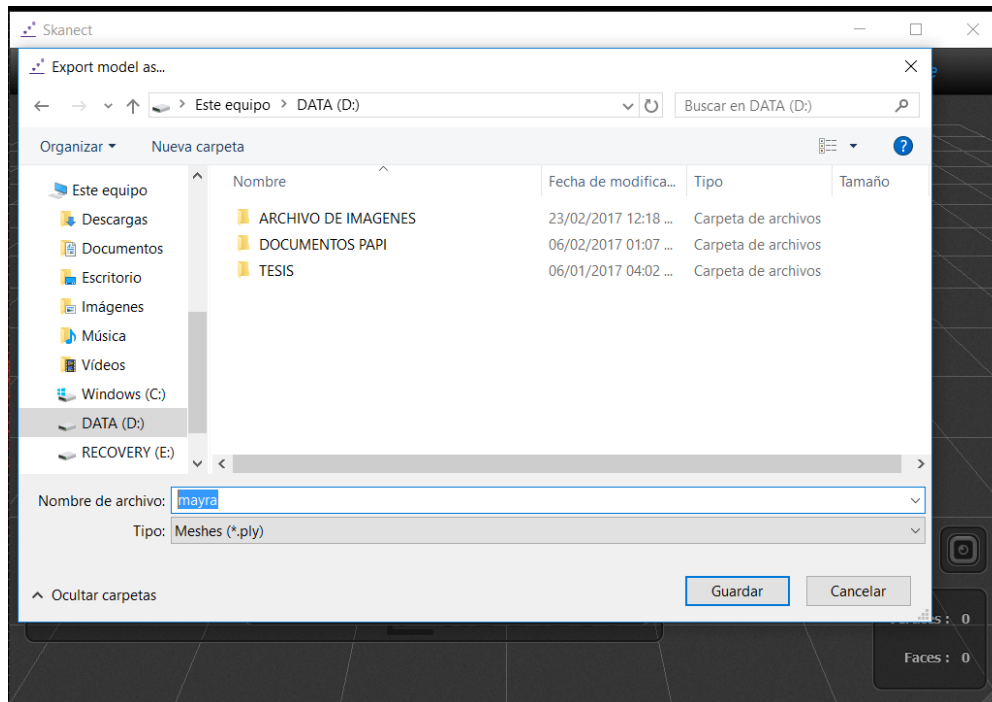


Figura 37. Guardado de la imagen

Posteriormente se procede a abrir el software MeshLab, donde se obtiene la pantalla que se muestra en la Figura 38.

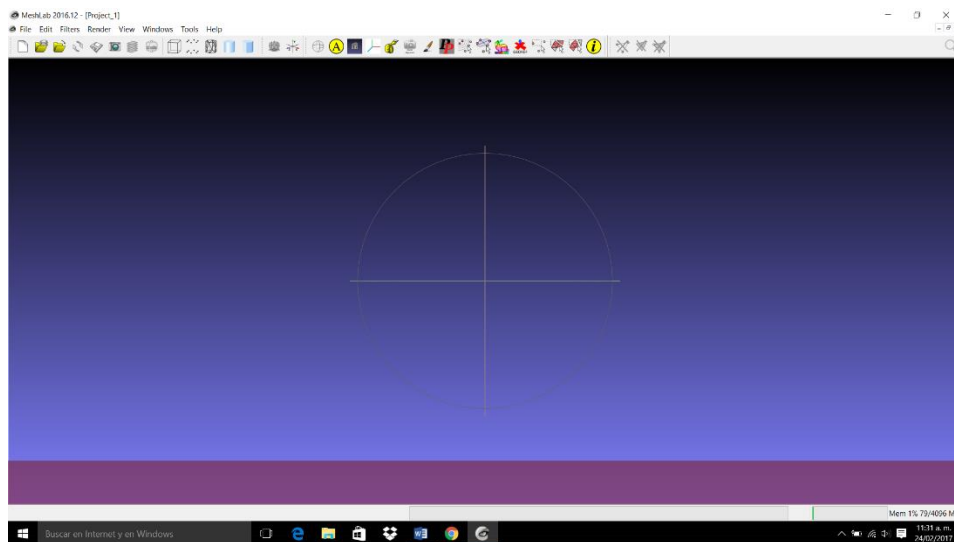


Figura 38. Pantalla principal del software Meshlab

Para importar la imagen al software MeshLab se dirige a File, Import Mesh como se muestra en la Figura 39.

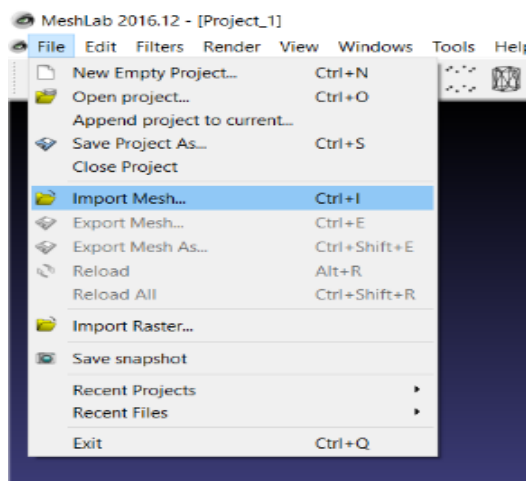


Figura 39. Pantalla principal del software Meshlab

Se debe seleccionar la imagen que se encuentra en la carpeta archivo de imágenes como se muestra en la Figura 40.

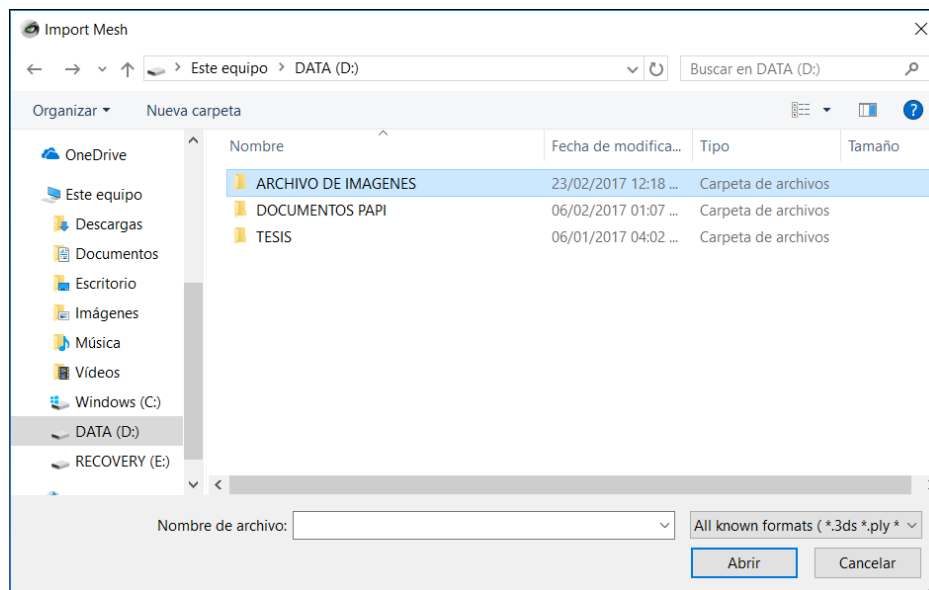


Figura 40. Pantalla para escoger la carpeta de archivo de imágenes

Posteriormente se elige la carpeta del pie que se desea analizar, ya sea el pie izquierdo o derecho como se puede ver en la Figura 41.

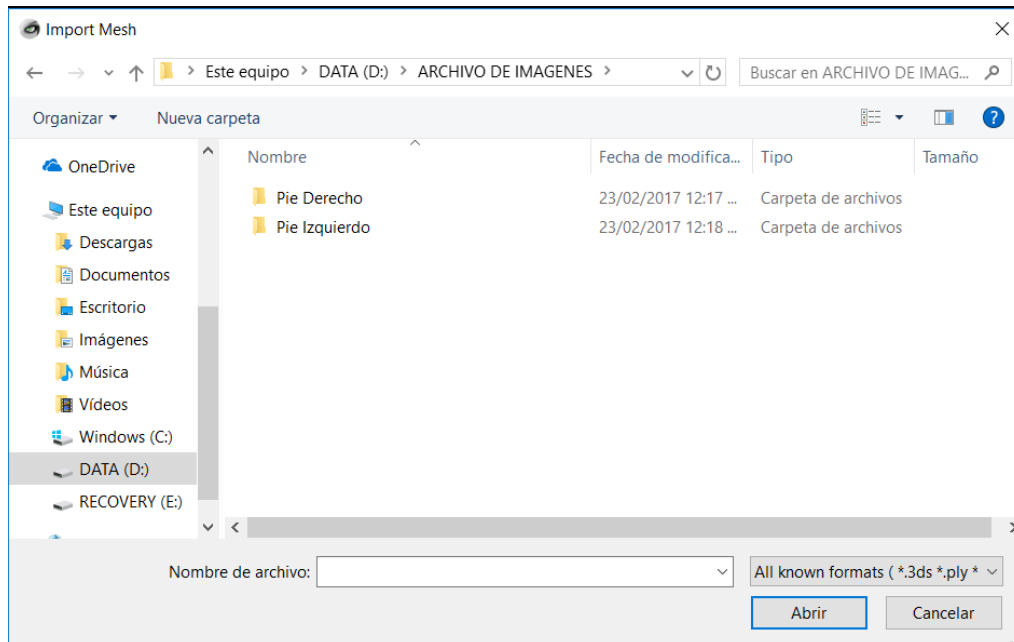


Figura 41. Carpetas del pie izquierdo y derecho.

Se debe escoger la imagen del paciente que se desee analizar, seleccionando la opción abrir como se muestra en la Figura 42.

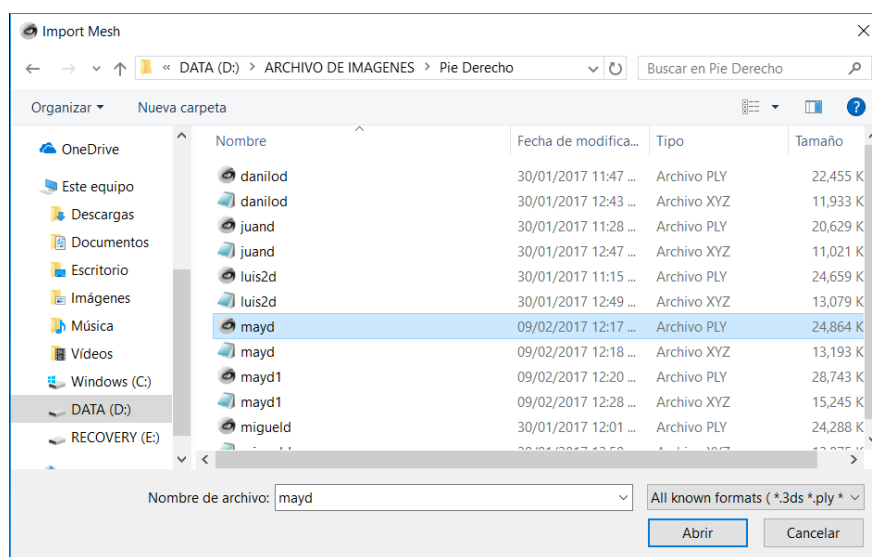


Figura 42. Imágenes en formato PLY.

Se obtiene la imagen tridimensional en el software MeshLab en el formato PLY, como se observa en la Figura 43.

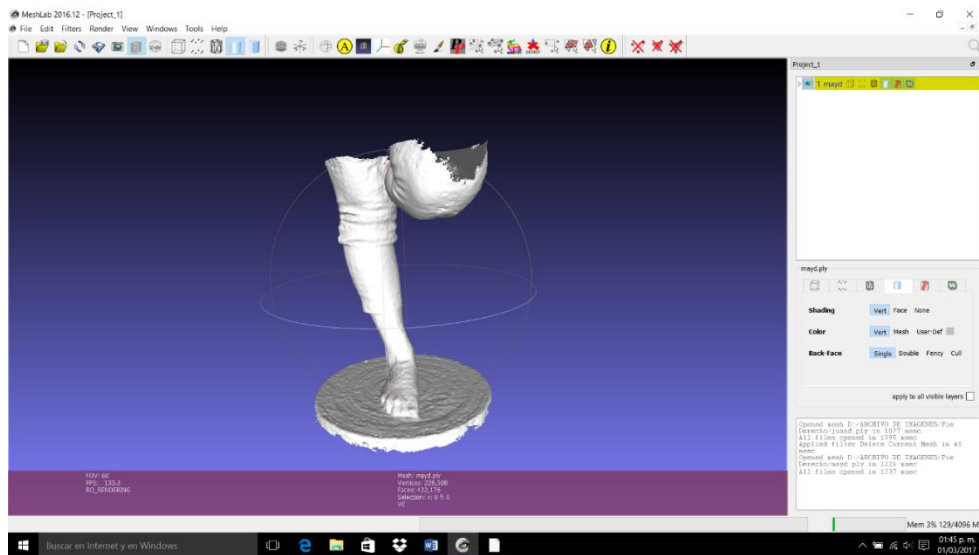


Figura 43. Imagen tridimensional en Meshlab

Una vez importada la imagen tridimensional al software MeshLab, se procede a realizar el cambio de formato, para ello se debe seleccionar la exportación de la imagen (ver Figura 44).

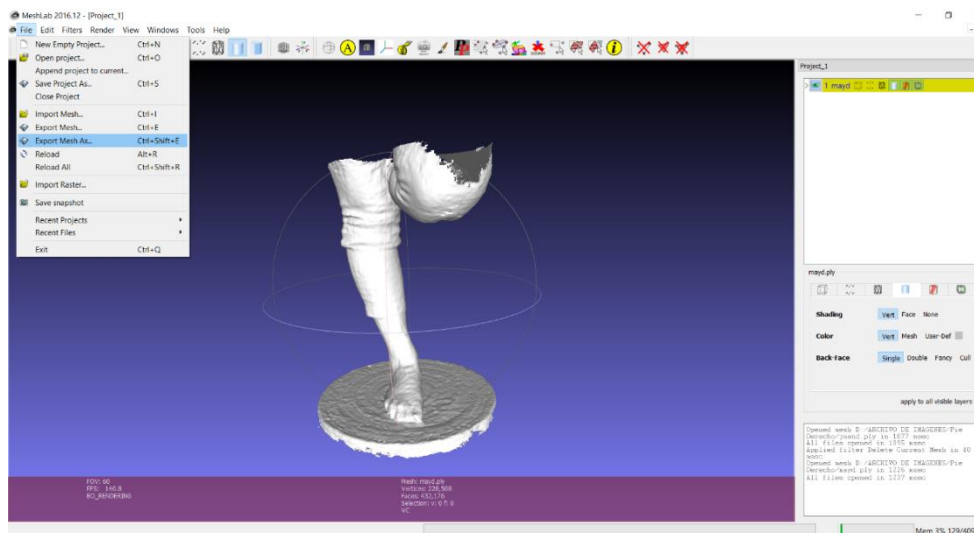


Figura 44. Pasos para el cambio de formato

Luego del paso anterior se tiene una nueva pantalla como se muestra en la Figura 44.

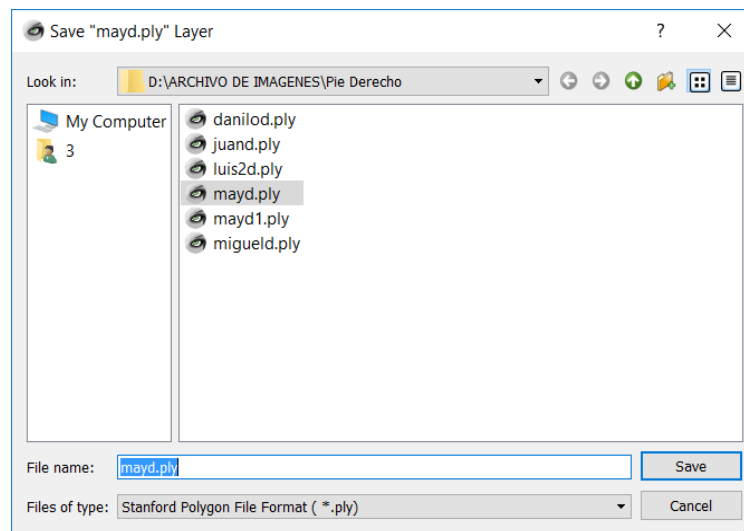


Figura 45. Se muestra la pantalla para el cambio de formato

Se debe seleccionar el formato que se desea tener (XYZ Point Cloud) como se muestra en la Figura 46, para obtener la nueva imagen en el formato XYZ.

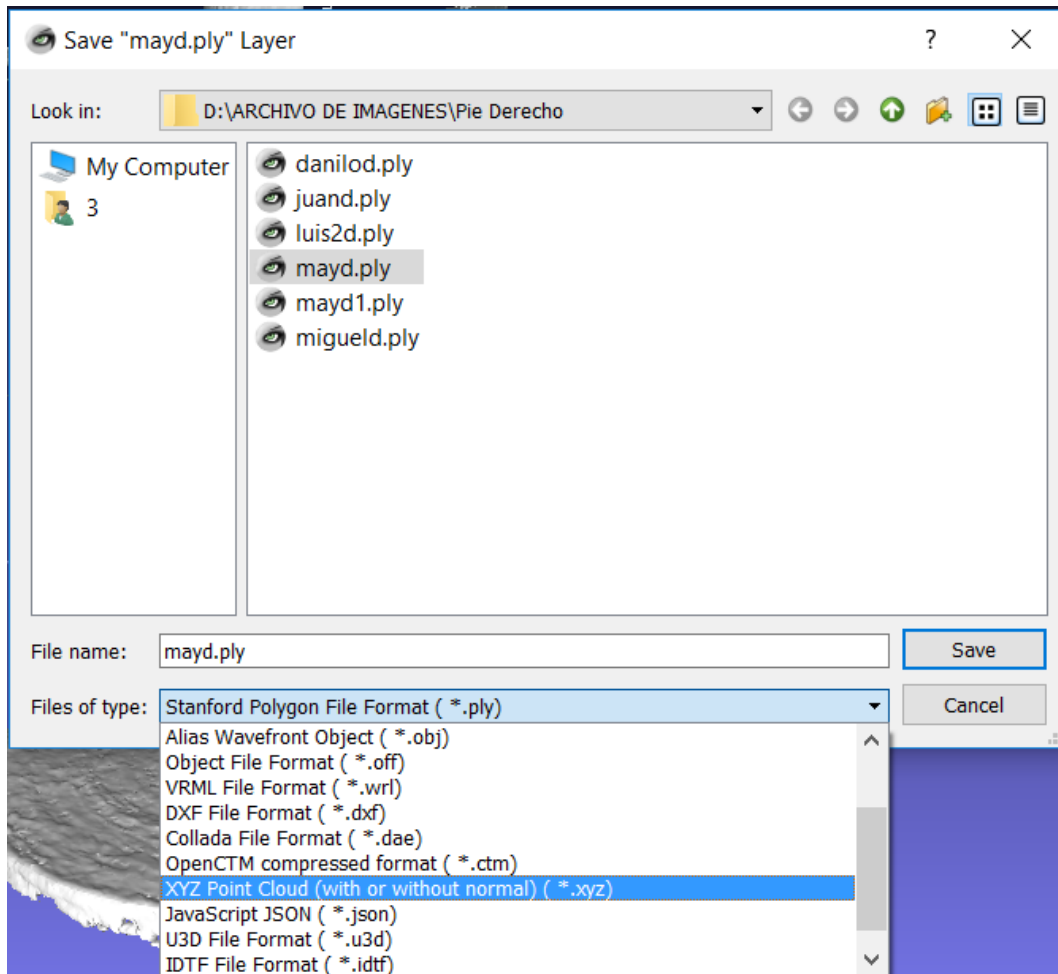


Figura 46. Se muestra la pantalla para escoger el formato XYZ.

Como se observa en la Figura 47, las imágenes fueron cambiadas al formato XYZ. El nombre del paciente se coloca el mismo que se tiene en el formato PLY para que no exista confusión. Seguidamente se selecciona la opción guardar.

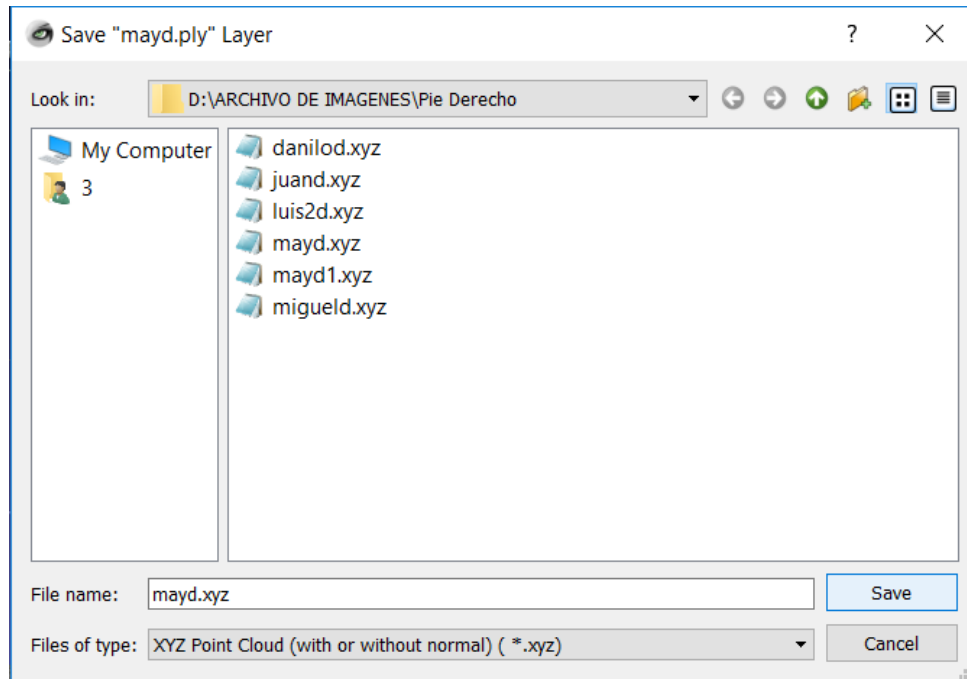


Figura 47. Imágenes con formato XYZ.

Como resultado final podemos observar en la Figura 48, la imagen tridimensional en el formato XYZ.

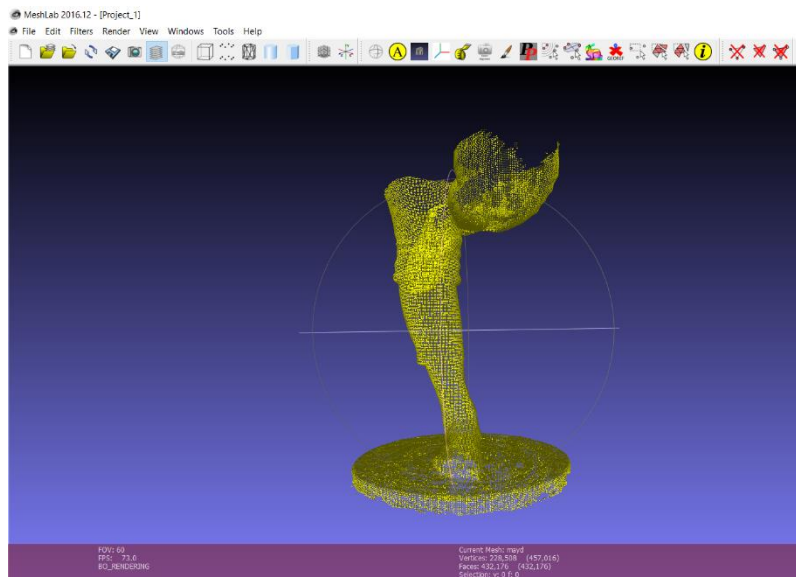


Figura 48. Imagen con formato XYZ

3.3 Sistema de Procesamiento 3D

El diagrama de bloques de la figura 49 presenta los pasos que se realizan para el sistema de procesamiento 3D. Se utiliza el software Python 2.7 para cargar la imagen 3D, posteriormente se recorta la imagen tomando en cuenta que se visualice correctamente el pie. Una vez obtenido el pie recortado se procede a obtener los puntos máximos y mínimos para la orientación de la imagen 3D, luego de orientar la misma se calcula las dimensiones del pie para determinar la enfermedad del valgus índice.

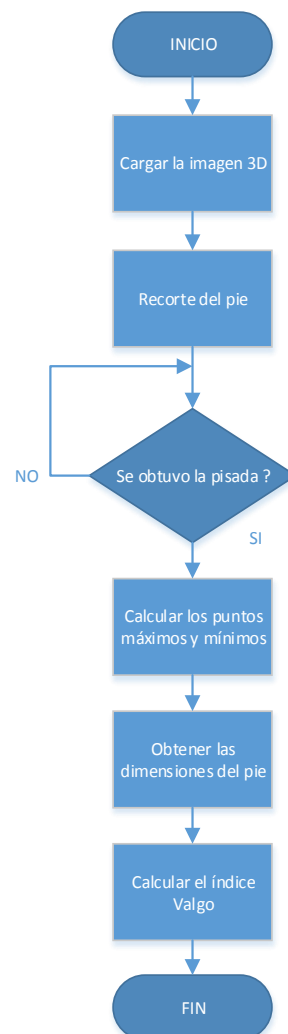


Figura 49. Diagrama de bloque del sistema de procesamiento de imagen 3D

Como primer paso se procede a abrir la imagen tridimensional en formato XYZ del archivo de imágenes, como se muestra en la Figura 48. La imagen al ser cambiada de formato, crea automáticamente normales a los planos de las caras tridimensionales de cada uno de los componentes de la imagen 3D como se observa en la Figura 50.

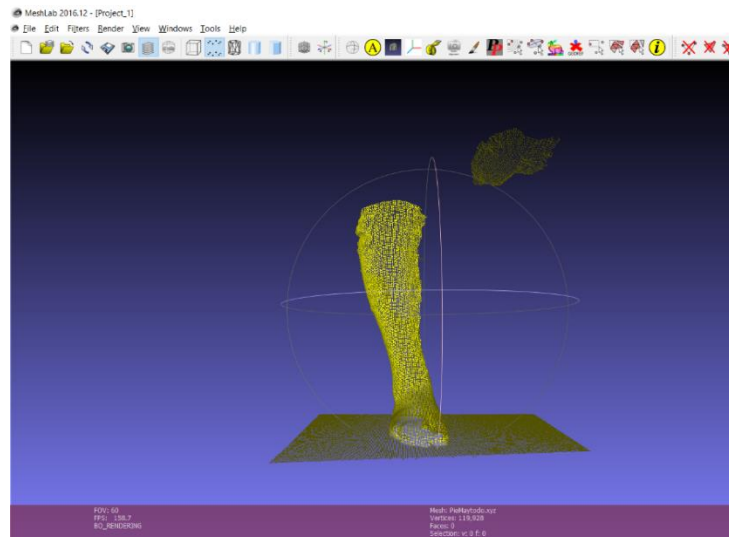


Figura 50. Imagen del pie en formato XYZ

En la Figura 51 se presentan 6 columnas, en donde las tres primeras columnas pertenecen a las coordenadas de los puntos de la imagen 3D, mientras que las siguientes tres columnas pertenecen a las normales de las coordenadas anteriormente mencionados.

PieMaytoto: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	
197.003998	113.750000	-96.188004	0.030568	-0.101540	0.994362
195.492004	113.403999	-96.095100	0.083333	-0.095004	0.991983
197.005005	113.347000	-96.233704	0.044927	0.026394	0.998642
198.567993	113.334999	-96.240799	0.025874	0.016690	0.999526
198.567001	113.870003	-96.202103	0.044289	-0.094521	0.994537
200.132004	113.306000	-96.298103	0.040311	0.027966	0.998796
200.130997	114.113998	-96.258797	0.042013	-0.073746	0.996392
201.695999	113.261002	-96.400200	-0.035094	0.005352	0.999370
201.694000	114.303001	-96.296600	-0.067568	-0.068292	0.995375
203.253998	113.338997	-96.146202	-0.055619	-0.045651	0.997408
203.253998	113.862000	-96.117599	-0.029747	-0.015907	0.999431
204.817993	113.318001	-96.182404	0.051397	-0.023150	0.998410
204.817001	113.997002	-96.136497	0.095688	-0.015396	0.995292
206.384003	113.246002	-96.363197	0.065611	0.022143	0.997599
206.384003	114.735001	-96.363602	0.086248	0.000949	0.996273
207.947006	114.873001	-96.408699	0.047140	0.014785	0.998779
207.479004	114.880997	-96.394699	0.027770	0.004130	0.999606
207.947006	113.223000	-96.403702	0.034564	0.030911	0.998924
209.511993	114.815002	-96.552101	0.037722	0.046964	0.998184
209.511002	113.192001	-96.466003	0.050073	0.032052	0.998231
211.074997	114.805000	-96.552696	0.011621	0.010972	0.999872
211.074005	113.171997	-96.495102	0.029283	0.016902	0.999428
212.636993	114.806999	-96.520103	-0.041003	-0.022049	0.998916
212.638000	113.133003	-96.581100	-0.019799	-0.003544	0.999798
214.199005	114.813004	-96.476303	0.013957	-0.018881	0.999724
214.199005	113.164001	-96.464401	-0.010074	0.012100	0.999876
215.761993	114.806999	-96.466499	-0.028353	-0.063398	0.997585
215.764008	113.112999	-96.584503	0.003097	0.026052	0.999656
217.324005	114.813004	-96.420303	0.042101	-0.008353	0.999079

Figura 51. Datos de la imagen del pie.

Con la ayuda del software Python se eliminan las columnas que pertenecen a las normales de las caras de la imagen. En las Figura 52 y Figura 53 se observan la imagen y los datos resultantes de la eliminación.

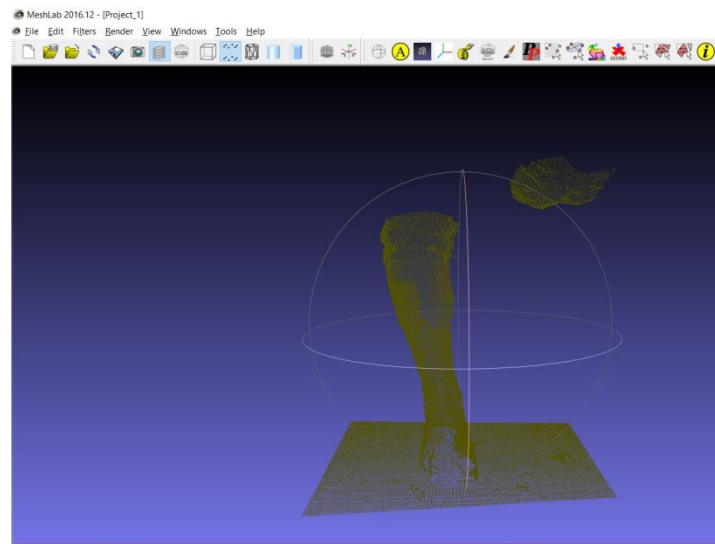


Figura 52. Imagen del pie eliminadas las normales de las caras.

pie_guardado: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
197.003998	113.750000	-96.188004		
195.492004	113.403999	-96.095100		
197.005005	113.347000	-96.233704		
198.567993	113.334999	-96.240799		
198.567001	113.870003	-96.202103		
200.132004	113.306000	-96.298103		
200.130997	114.113998	-96.258797		
201.695999	113.261002	-96.400200		
201.694000	114.303001	-96.296600		
203.253998	113.338997	-96.146202		
203.253998	113.862000	-96.117599		
204.817993	113.318001	-96.182404		
204.817001	113.997002	-96.136497		
206.384003	113.246002	-96.363197		
206.384003	114.735001	-96.363602		
207.947006	114.873001	-96.408699		
207.479004	114.880997	-96.394699		
207.947006	113.223000	-96.403702		
209.511993	114.815002	-96.552101		
209.511002	113.192001	-96.466003		
211.074997	114.805000	-96.552696		
211.074005	113.171997	-96.495102		
212.636993	114.806999	-96.520103		
212.638000	113.133003	-96.581100		
214.199005	114.813004	-96.476303		
214.199005	113.164001	-96.464401		
215.761993	114.806999	-96.466499		
215.764008	113.112999	-96.584503		
217.324005	114.813004	-96.420303		

Figura 53. Datos de la imagen del pie eliminadas las normales de las caras.

Una vez realizada la eliminación de las normales de las caras de la imagen 3D se obtiene la imagen en Python mostrada en la Figura 54. Posteriormente se procede a obtener los valores máximos y mínimos en los ejes de x, y, z.

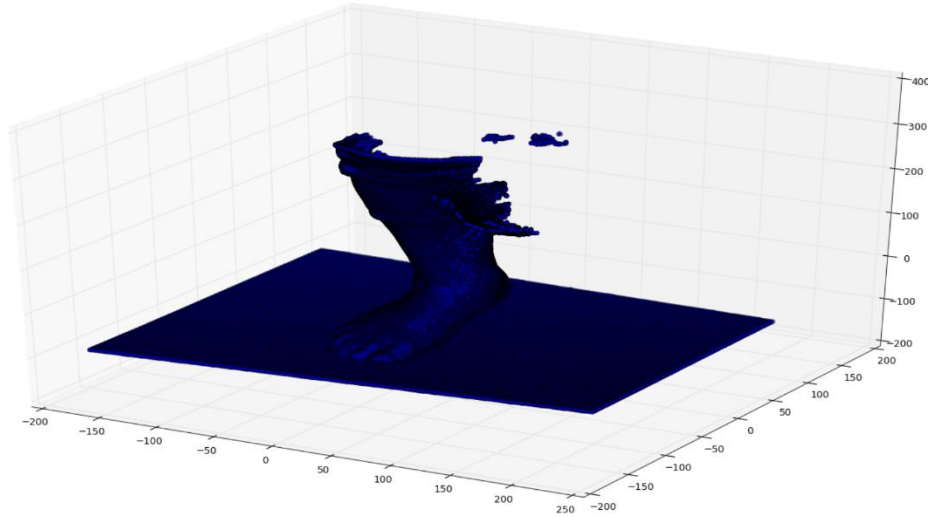


Figura 54. Imagen del pie en Python.

Para obtener únicamente la imagen del pie se procede a cortar y eliminar los datos innecesarios con la ayuda de los valores máximos y mínimos que fueron obtenidos anteriormente. La imagen recortada se observa en la Figura 55.

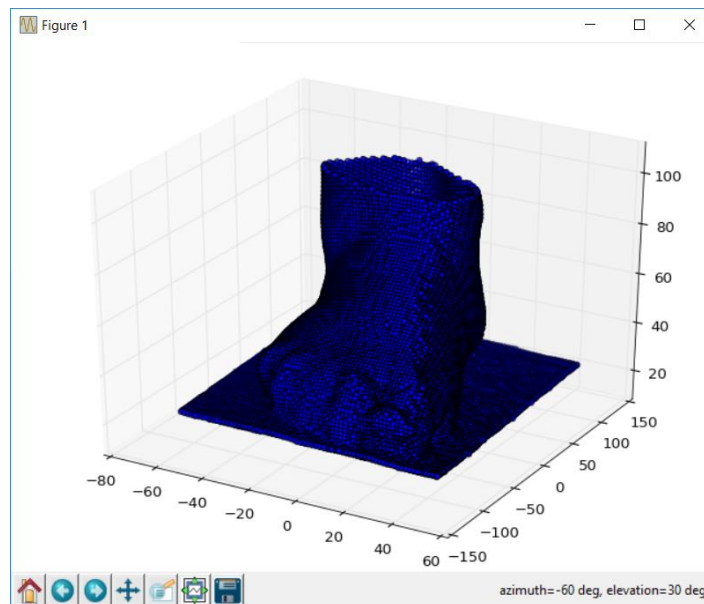


Figura 55. Imagen del pie recortada

Una vez obtenida la imagen del pie recortado, se procede a obtener los valores máximos y mínimos en los ejes X, Y de la nueva imagen mediante códigos de programación. Seguidamente con la ayuda de los valores máximos y mínimos obtenidos, se determinan tres puntos en el plano inferior del eje z. Las tres coordenadas se representan en la Figura 56.

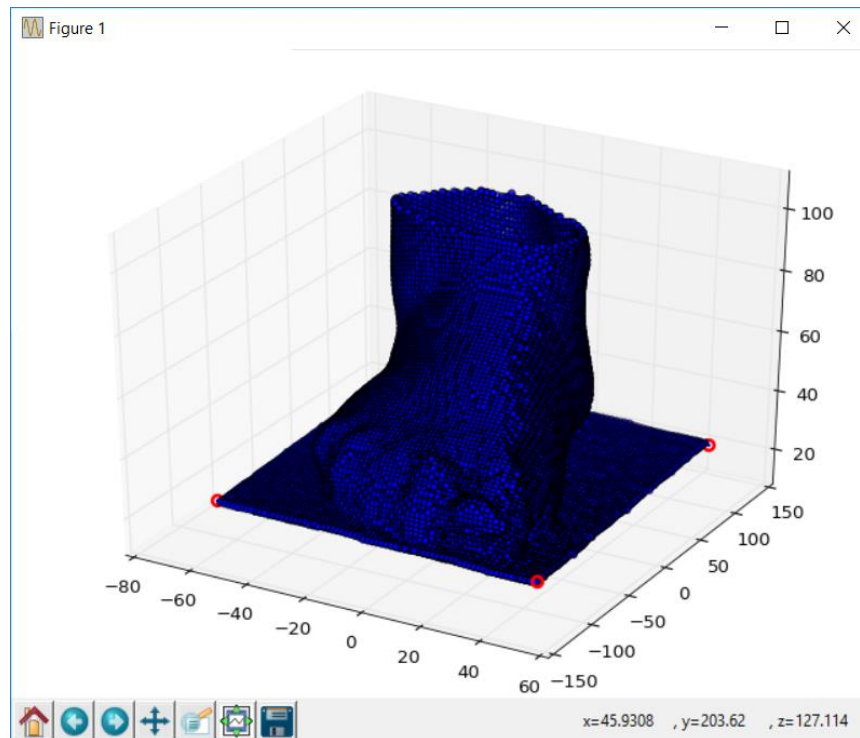


Figura 56. Puntos en los extremos del plano en el que asienta el pie.

Después de obtener los tres puntos de coordenadas en el plano en que se asienta el pie, se procede a calcular los vectores A y B utilizando los puntos anteriormente mencionados, esto se lo realiza mediante códigos de programación en Python. Los dos vectores obtenidos son: el vector A de color rojo y el vector B de color verde, como se muestra en la Figura 57.

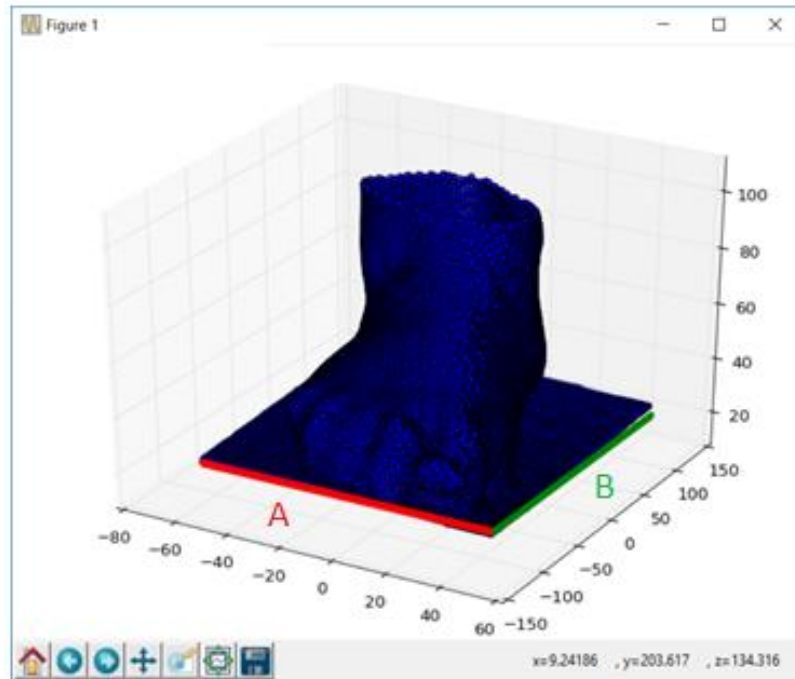


Figura 57. Presentación de los vectores (A y B)

Siguiendo con el procedimiento del procesamiento de imágenes 3D. Los vectores (A y B) son utilizados para determinar el vector C, el cual se encuentra perpendicular a los vectores (A y B), seguidamente se procede a realizar el producto cruz entre dos vectores. El procedimiento para obtener el producto cruz de los vectores (A y B) se muestra a continuación en la ecuación 3. El cálculo es realizado mediante códigos de programación en el software Python.

$$A \times B = \begin{vmatrix} a_x & a_y & a_z \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$= (A_y B_z - A_z B_y) a_x + (A_z B_x - A_x B_z) a_y + (A_x B_y - A_y B_x) a_z \quad \text{ec3}$$

En la Figura 58, se representa una imagen que contiene a los vectores (A y B) que se encuentran en la parte inferior de la imagen. El vector C que fue calculado por el producto cruz de los vectores (A y B), se encuentra designado con el color

amarillo y dicho vector es perpendicular al plano que contiene los dos vectores anteriormente mencionados.

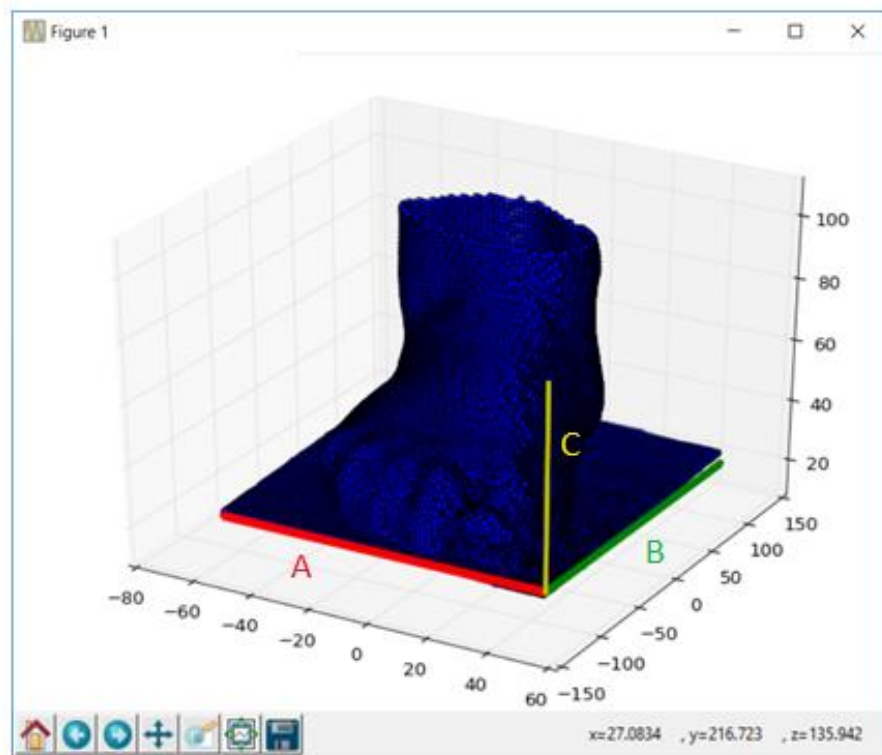


Figura 58. Representación de los vectores (A, B, C)

Después de obtener las coordenadas del vector C, se procede a calcular el módulo del vector C para posteriormente obtener los valores unitarios del mismo vector, los cálculos se realizan por códigos de programación mediante las siguientes ecuaciones.

Módulo del vector C en la ecuación 4

$$C_m = \sqrt{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2} \quad \text{ec4}$$

En la ecuación 5, los vectores unitarios corresponden a los cosenos de los ángulos en los que se encuentra desplazado el piso con respecto al eje de coordenadas absoluto z.

$$C_{xu} = \frac{C_x}{C_m}; C_{yu} = \frac{C_y}{C_m}; C_{zu} = \frac{C_z}{C_m} \quad \text{ec5}$$

Una vez determinados los cosenos directores del vector C, se procede a calcular el ángulo de cada uno de los valores unitarios del vector C, para lo cual se utiliza las siguientes ecuaciones:

Coseno director con respecto al eje x en la ecuación 6:

$$\phi = \arccos(C_{xu}) \quad \text{ec6}$$

Coseno director con respecto al eje z en la ecuación 7.

$$\beta = \arccos(C_{zu}) \quad \text{ec7}$$

Después de obtener los ángulos ϕ y β (cosenos directores), se procede a linear la imagen con respecto al eje z, para lo cual se multiplica la matriz de la imagen por la matriz de la ecuación 8, cada punto de la nube de la imagen se rota automáticamente utilizando la ecuación 8.

$$\mathbf{R}_x(\theta_x) = \begin{bmatrix} \cos \theta + w_x^2(1 - \cos \theta) & w_x w_y(1 - \cos \theta) & w_y \sin \theta \\ w_x w_y(1 - \cos \theta) & \cos \theta + w_y^2(1 - \cos \theta) & w_x \sin \theta \\ -w_y \sin \theta & w_x \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad \text{ec8}$$

En la Figura 59 se presentan dos imágenes de pie. La primera antes de la rotación y la segunda ya rotada.

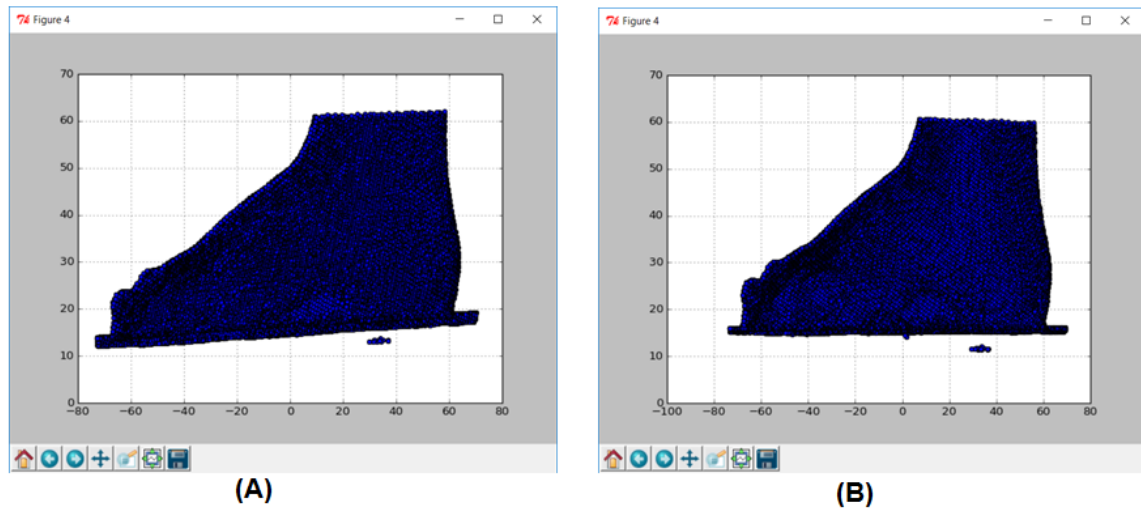


Figura 59. Imagen del pie en 2D (A); (B) Rotación con el plano del pie perpendicular al eje Z.

Posteriormente se procede a alinear la imagen con respecto al eje x, para lo cual se multiplica la matriz de la imagen orientada en el eje z por la matriz de la ecuación 9, cada punto de la nube de la imagen se rota automáticamente utilizando la ecuación 9.

$$\mathbf{R}_z(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & -w_z \sin \beta & 0 \\ w_z \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & \cos \beta u_z^2 (1 - \cos \beta) \end{bmatrix} \text{ ec (9)}$$

Por consiguiente, después del paso anterior se obtiene la Figura 60, donde se observa la imagen del pie, antes y el después de la rotación en el eje x. De la misma manera se representa las imágenes en 2D para una mejor visualización de la rotación de la imagen.

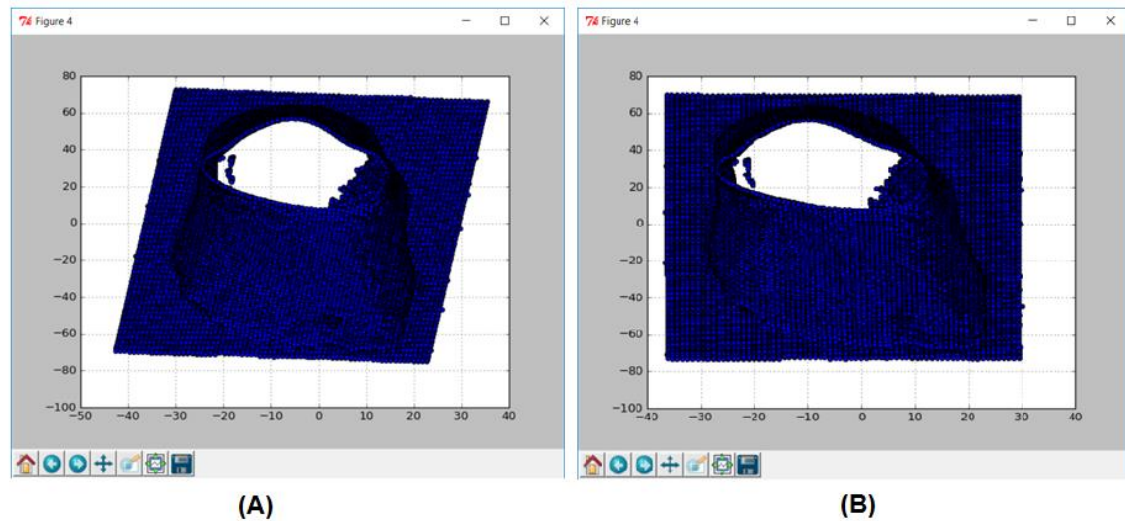


Figura 60. Imagen del pie en 2D A) sin rotación en el eje x, B) con rotación en el eje x.

Después de realizar la orientación, se tiene una imagen tridimensional totalmente alineada en los ejes xyz. La imagen 3D alineada se visualiza en la Figura 61.

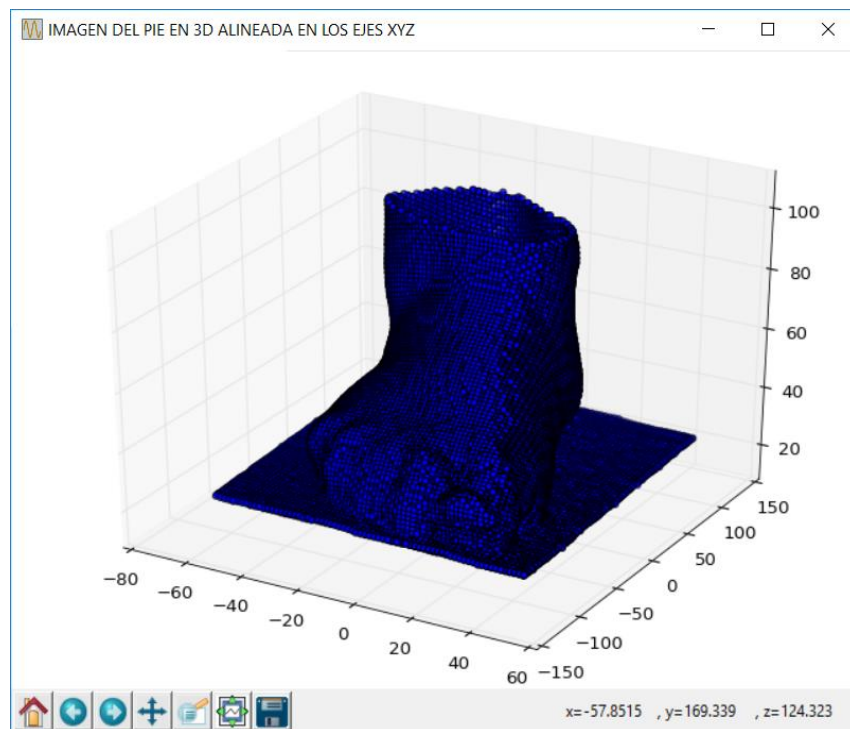


Figura 61. Imagen del pie en 3D alineada en los 3 ejes

Al ser alineada totalmente la imagen en los tres ejes, se procede a eliminar la base de la imagen para así obtener únicamente el pie en tres dimensiones. Los cálculos para recortar la base se lo realizan mediante códigos de programación en Python. En la Figura 62 se observa la imagen con la base eliminada.

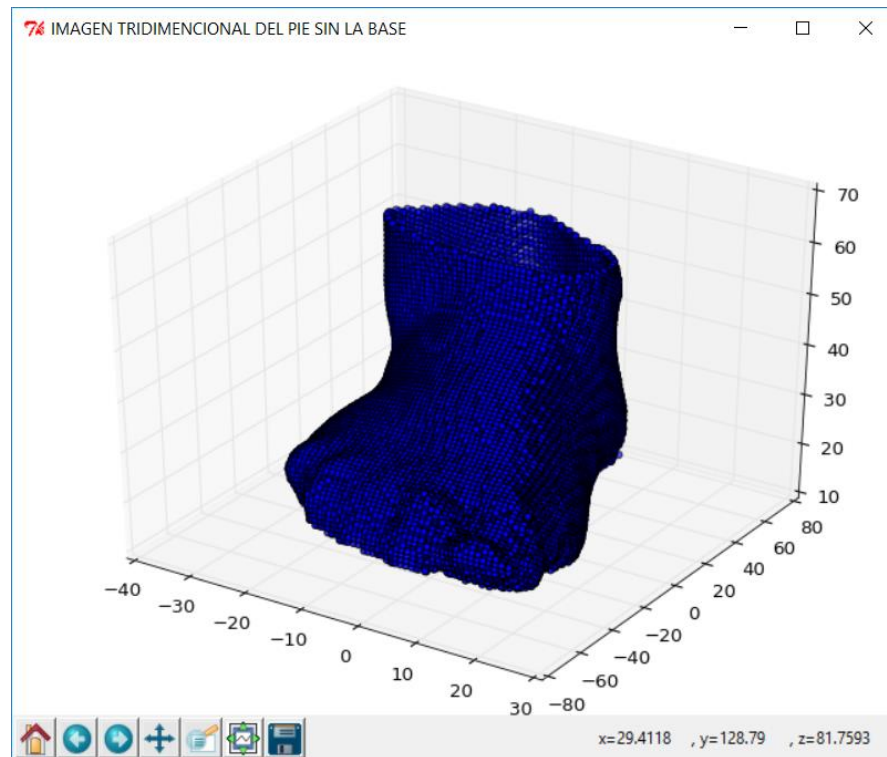


Figura 62. Imagen del pie en 3D recortada la base.

Para obtener una mejor percepción de pie sin la base se presenta la imagen recortada en dos dimensiones en los ejes (xy, xz, yz), en la Figura 63 respectivamente.

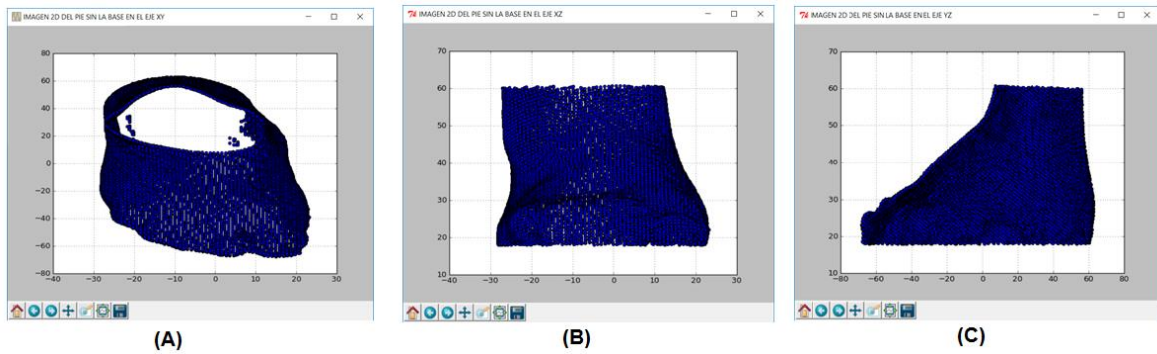


Figura 63. Imagen del pie en 2D: (A) plano xy; (B) plano xz; (C) plano yz.

Siguiendo con el procedimiento se determinan las medidas en el plano z. En primer lugar, se mide el eje longitudinal del pie que se encuentra comprendido entre la parte trasera del talón y el segundo dedo del pie como se muestra en la figura 64. Para obtener la siguiente medida se procede a determinar el valor comprendido entre el maléolo interno y el maléolo externo del pie como se muestra en la Figura 64.

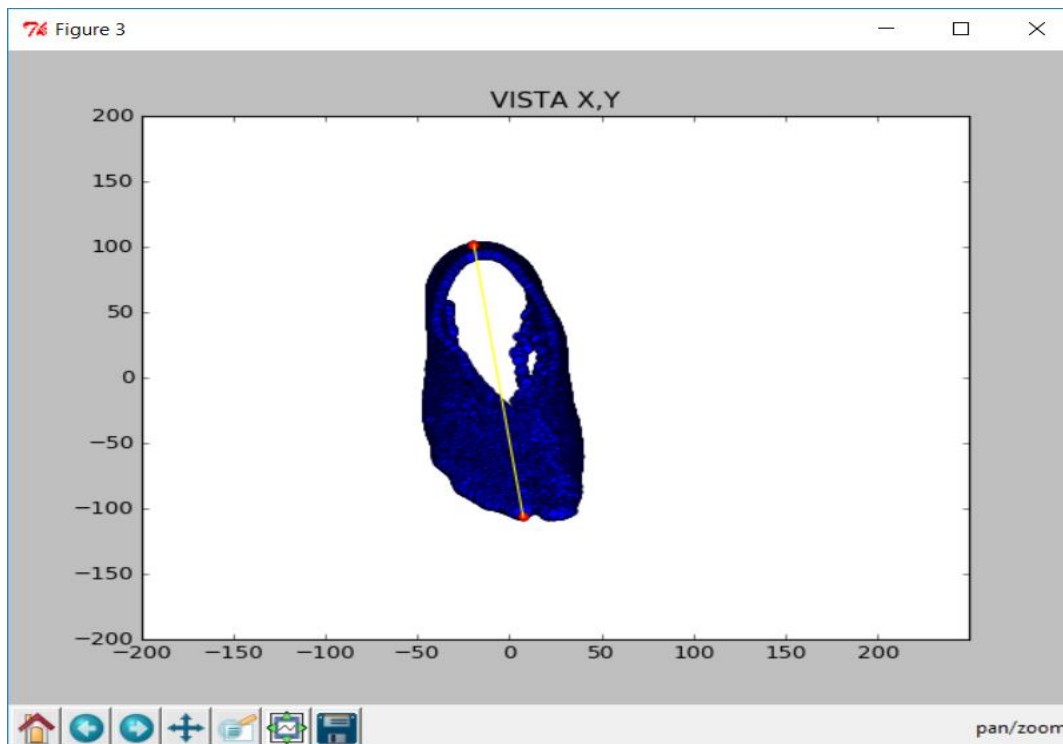


Figura 64. Medida del eje longitudinal del pie en el plano xy.

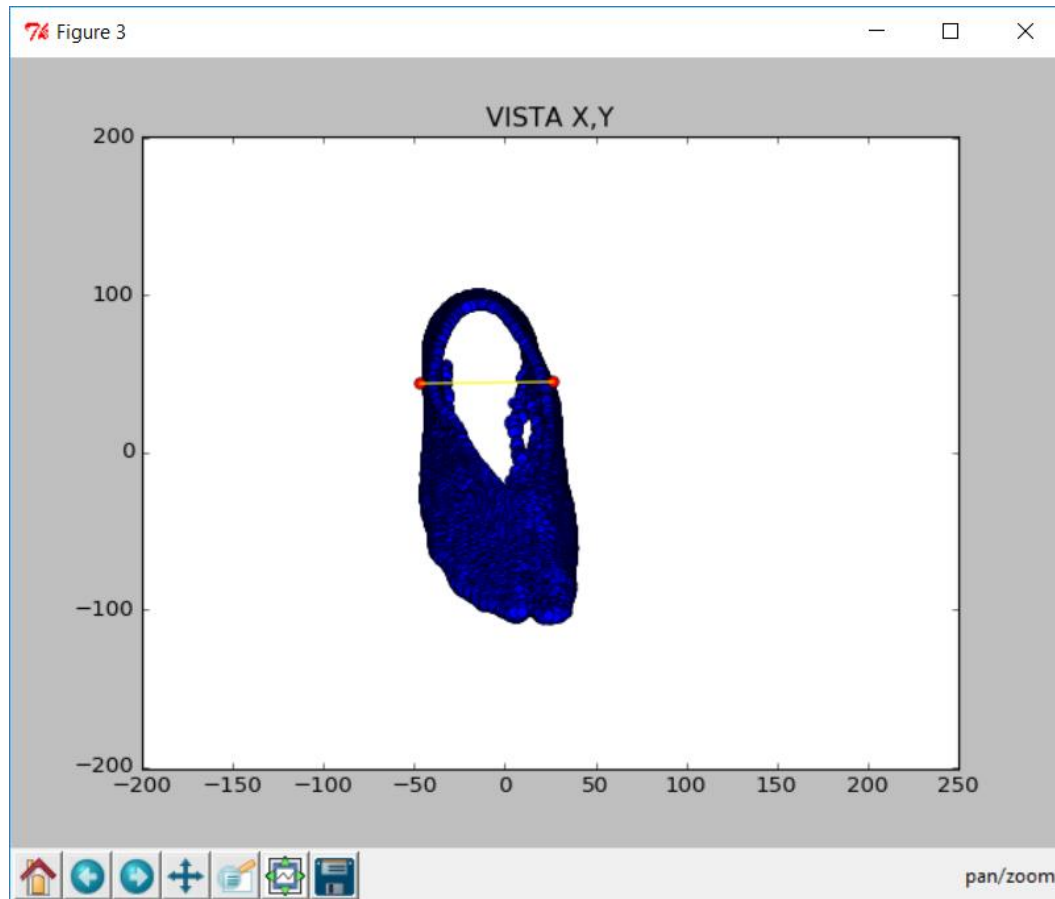


Figura 65. Medida longitudinal entre el maléolo interno y externo del pie.

Como resultado de las dos longitudes obtenidas anteriormente, se tiene la medida AB la cual está comprendida entre el maléolo interno y el maléolo externo del pie, la medida AC está comprendida entre el maléolo interno del pie y la intersección del eje longitudinal del pie como se muestra en las figuras (66 y 67).

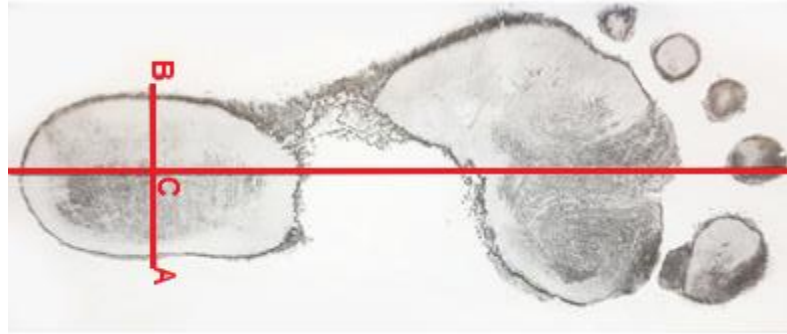


Figura 66. Medidas AB y AC del pie.

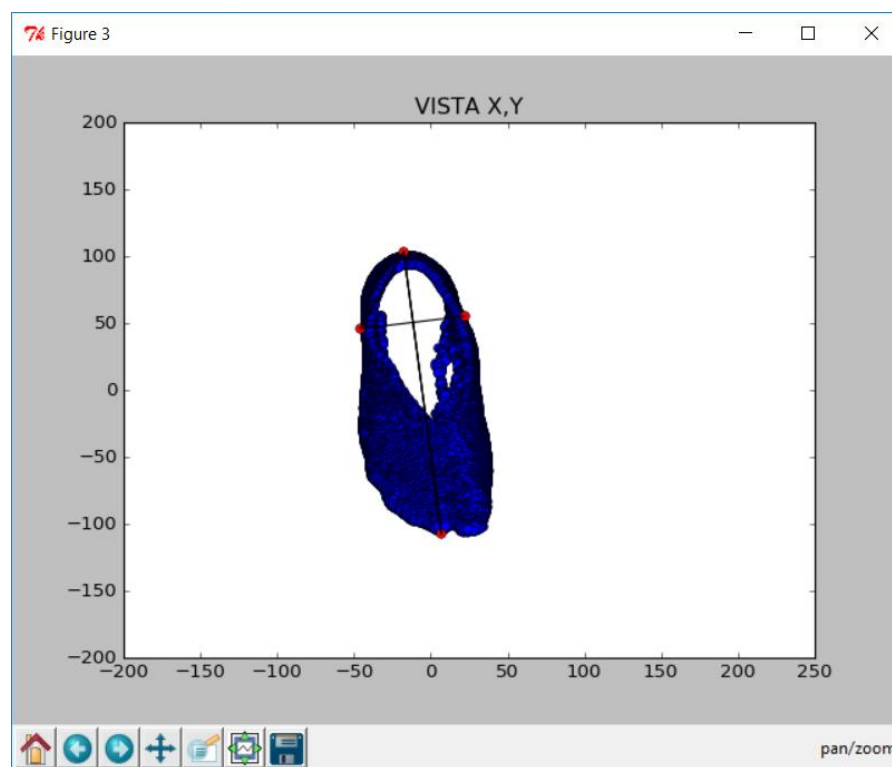


Figura 67. Medidas AB y AC en Python.

Una vez obtenido los datos de AB y AC, se procede a aplicar los valores en la ecuación 10.

$$\text{Índice Valgo} = \left[\frac{0.5AB - AC}{AB} \right] * 100 \quad \text{ec.10}$$

Una vez obtenido el valor del índice valgo, se procede a determinar si la persona tiene el pie varo, valgo o normal, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Índice valgus <11%: Tendencia a pie varo
- 11% <Índice Valgus <14%: rango de normalidad
- Índice valgo > 14%: Tendencia a pie valgo

3.4 Diseño de la Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica contiene una pantalla general la misma que a su vez contiene una nueva pantalla de visualización de imágenes, botones, scripts y herramientas propias del programa. En la sub-pantalla de visualización de imágenes se puede observar el pie en 2 dimensiones de forma lateral, frontal, superior y en 3D. En la pantalla general tenemos varios botones; dos botones, tanto el derecho como el izquierdo, sirven para abrir el archivo de imágenes para extraer la imagen del pie, un botón que nos permite guardar la información del paciente en la base de datos. El botón limpiar se utiliza para borrar la información de los scripts, un botón que nos permite abrir la información que se encuentra almacenada en la base de datos, dos botones los cuales se utilizan para obtener medidas del pie de forma manual y a su vez borrarla, 4 botones que se usan para observar la imagen en 2D de forma lateral, frontal, superior y en 3D. Los scripts son utilizados para introducir información, poner observaciones y observar los resultados de los pacientes.

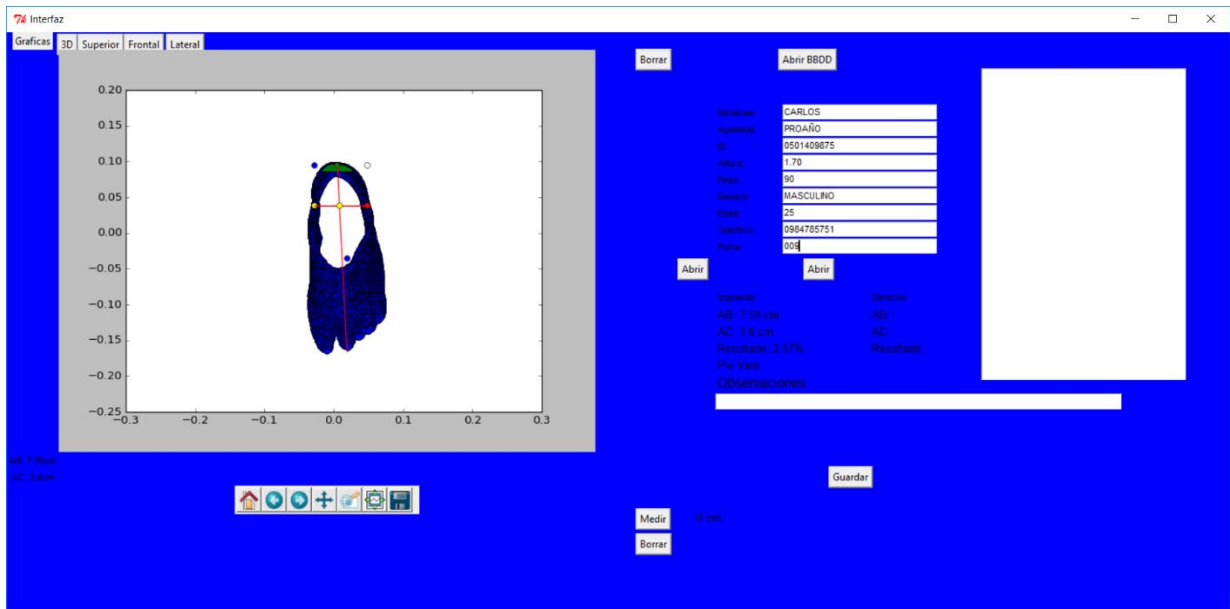


Figura 68. Interfaz gráfica del sistema de procesamiento de imágenes 3D

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se describen las pruebas realizadas para determinar la enfermedad del Valgus Índex del pie humano. Para la realización de las pruebas se obtienen imágenes 3D del pie de diferentes personas con edades distintas, con el propósito de comprobar el funcionamiento y desempeño de la aplicación. El sistema limita al volumen de interés la imagen 3D, orienta y obtiene las medidas necesarias del pie para posteriormente determinar la posible existencia del problema del valgus índex, como resultado se obtiene un mensaje que nos indica si el paciente cuenta o no con este problema y así acudir donde el médico especialista al tratamiento respectivo.

4.1 Mediciones

Las mediciones son valores que ayudan en el sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales para la detección del valgus índex. Para obtener las medidas del pie se utiliza la plataforma mecánica, la cámara Kinect, el software Skanect y el software Python, donde se establecen parámetros como: medidas, distancias y valores necesarios para la aplicación.

4.1.1 Medidas de la plataforma y la cámara

Para obtener una imagen del pie clara y precisa, se deben realizar varias mediciones como son: el diámetro de la plataforma giratoria, la altura de la plataforma giratoria, la altura en la que se debe ubicar la cámara Kinect y la distancia entre la cámara y la plataforma giratoria.

El pie de la persona que se va a escanear debe estar ubicado sobre la plataforma giratoria, a su vez el diámetro de la plataforma tiene una medida de 50

cm para ello se tomó en cuenta que ninguna persona sobrepasa los 50 cm de largo del pie. Para la altura de la plataforma giratoria se consideró 15 cm ya que la plataforma con dichas medidas ayuda a que la información no deseada no afecte a la imagen tridimensional del pie al ser escaneado. En la Figura 69, se observan las medidas del diámetro y la altura de la plataforma giratoria.

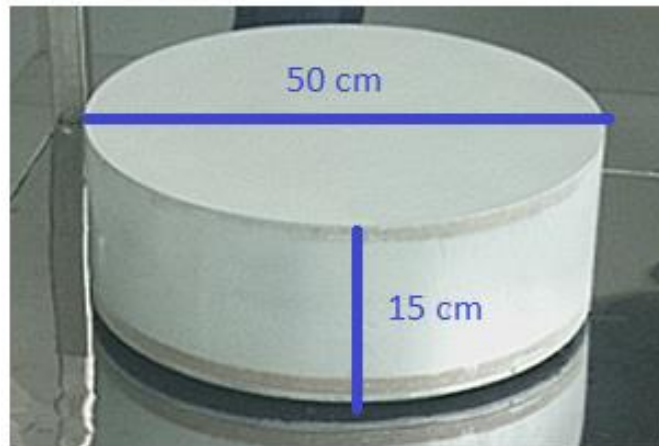


Figura 69. Medidas de la plataforma giratoria.

Para la ubicación de la cámara se considera una altura de 90 cm a partir del nivel del suelo hasta la base de la cámara, se establece esta altura para obtener la base de la plataforma giratoria como parte de la imagen, posteriormente se realiza la orientación de la misma. La distancia entre la plataforma giratoria y la cámara Kinect es de 70 cm; siendo esta la distancia que se tomó en cuenta para que el ángulo de proyección del sensor Kinect no capte los tubos de la estructura metálica de la plataforma. En la Figura 70 se observan las distancias establecidas para la ubicación de la cámara.



Figura 70. Distancias de ubicación de la cámara.

Fuente: (Los Autores).

4.1.2 Medidas obtenidas con el software Skanect

Para escanear la imagen del pie en el software Skanect se considera una medida de 0.5 metros en el cuadro delimitador (Bounding box) como se muestra en la Figura 71. Este valor nos determina el alto, ancho y la profundidad del cubo en el cual se visualiza la imagen que se desea escanear. El cubo, la imagen y las dimensiones se observan en la Figura 72.

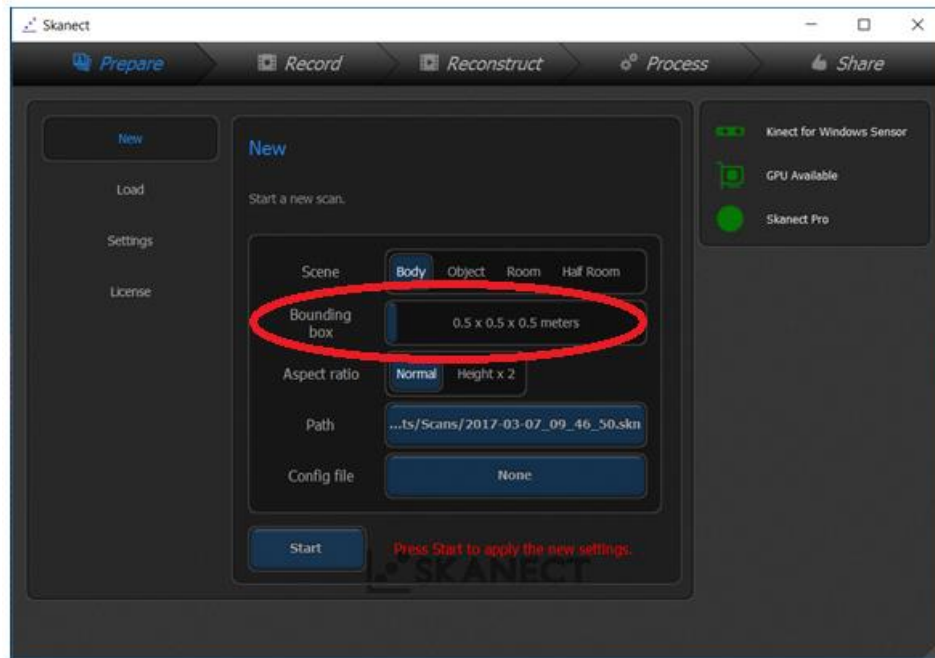


Figura 71. Medida del cuadro delimitador (Bounding box).

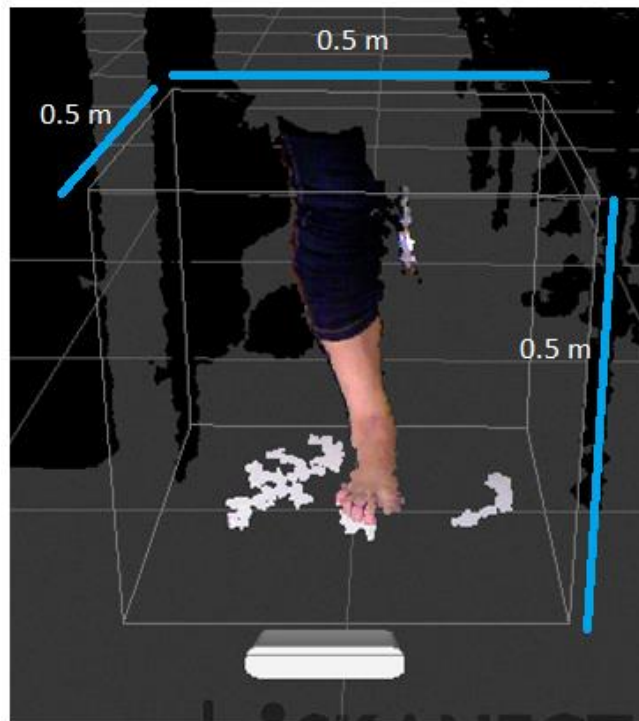


Figura 72. Distancias del alto, ancho y la profundidad del cubo.

4.1.3 Medidas del pie que se obtienen con el software Python.

Mediante el software Python y el código de programación, se puede determinar el valgus índice del pie humano, para ello es necesario obtener las medidas de AB y AC del pie como se muestra en la figura 73. Para las mediciones se realiza un trazado de la línea MN que va desde la mitad del talón hasta el segundo dedo del pie, la medida AB es considerada entre el maléolo interno y el maléolo externo del pie, la medida AC es considerada desde el maléolo interno del pie hasta la intersección de la línea MN como se indica en la Figura 73.

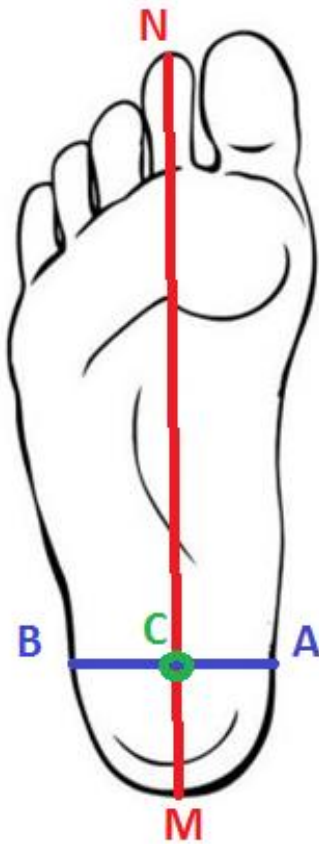


Figura 73. Medidas del pie para el cálculo del valgus índice.

4.2 Pruebas de operación

Para verificar el funcionamiento del sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales, se realizan las pruebas de la adquisición de datos y pruebas en el procesamiento de imágenes tridimensionales; además para la realización de este proyecto se ha trabajado con niños en edades comprendidas entre los 9 a 13 años, jóvenes y adultos con edades comprendidas entre 15 a 74 años. El total de muestras realizadas es de 55 personas entre niños, jóvenes y adultos.

Cada una de las personas debe colocar el pie derecho o izquierdo en la plataforma giratoria, posteriormente la persona permanece estática por un minuto por cada pie mientras se ejecuta la obtención de la imagen 3D. Una vez obtenida la imagen 3D, se realizan las pruebas del procesamiento de la imagen en el software Python para determinar el valgus índice del pie.

4.2.1 Pruebas de la adquisición de los datos

Para realizar las pruebas de adquisición de datos como se muestra en la Figura 74 se procede a colocar al paciente sobre la plataforma giratoria donde la persona permanecerá estática con un solo pie ya sea derecho o izquierdo por un minuto, donde la plataforma giratoria rotará 360 grados al igual que el paciente.



a) Pie izquierdo

b) Pie derecho

Figura 74. Colocación de los pacientes para realizar las pruebas de adquisición de los datos.

En la Figura 75 se muestran las diferentes pruebas realizadas usando el software Skanect en distintas posiciones del pie que se realizaron para la adquisición de los datos. En cada una de las pruebas realizadas se puede observar dos colores (verde y rojo) en la imagen tridimensional. El color verde de la imagen son los datos válidos que son adquiridos para obtener la imagen 3D, el color rojo nos indica los datos que no serán adquiridos para la imagen.

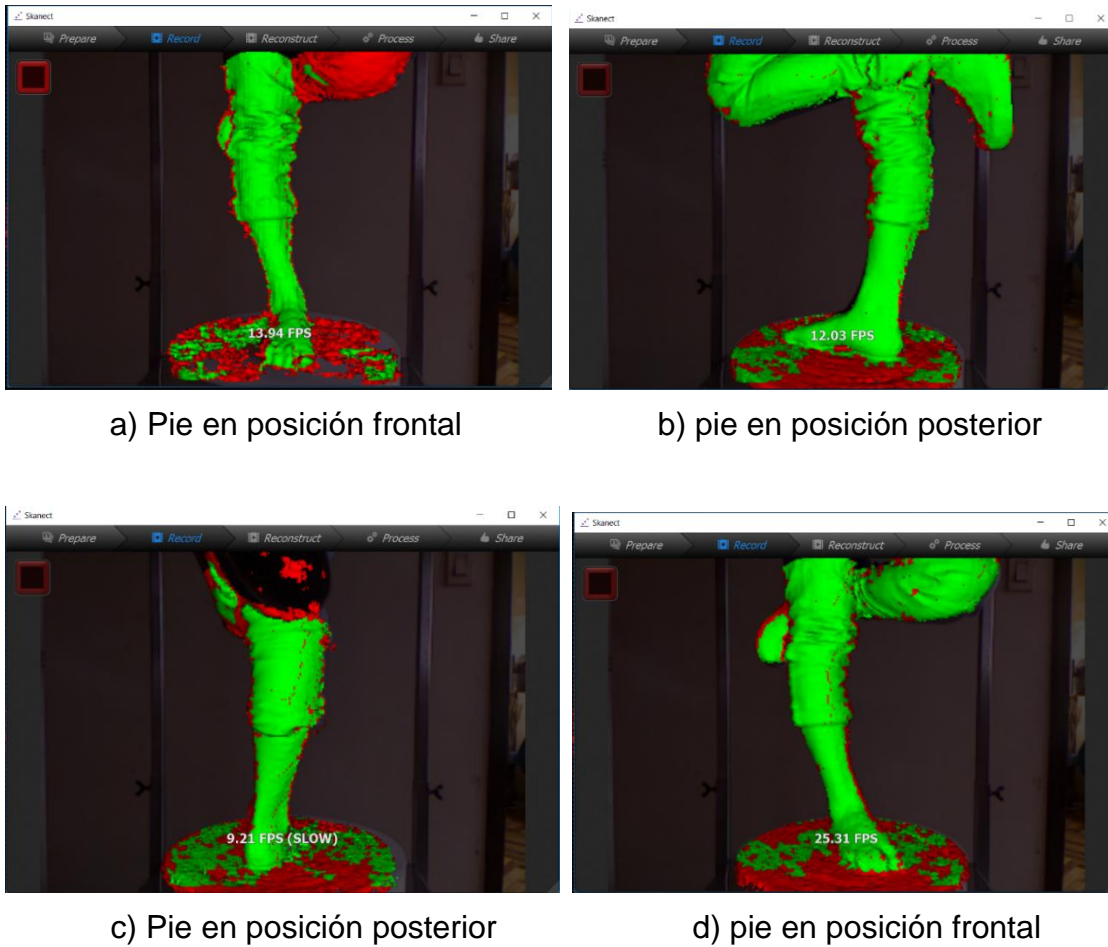


Figura 75. Pruebas realizadas para la adquisición de los datos.

Como resultado final de las pruebas realizadas anteriormente para la adquisición de los datos, se tiene una imagen 3D como se observa en la Figura 76. La imagen resultante está dada de color blanco en el área de un cubo de 0.5 cm, donde los valores ya fueron establecidos en las medidas del sistema.

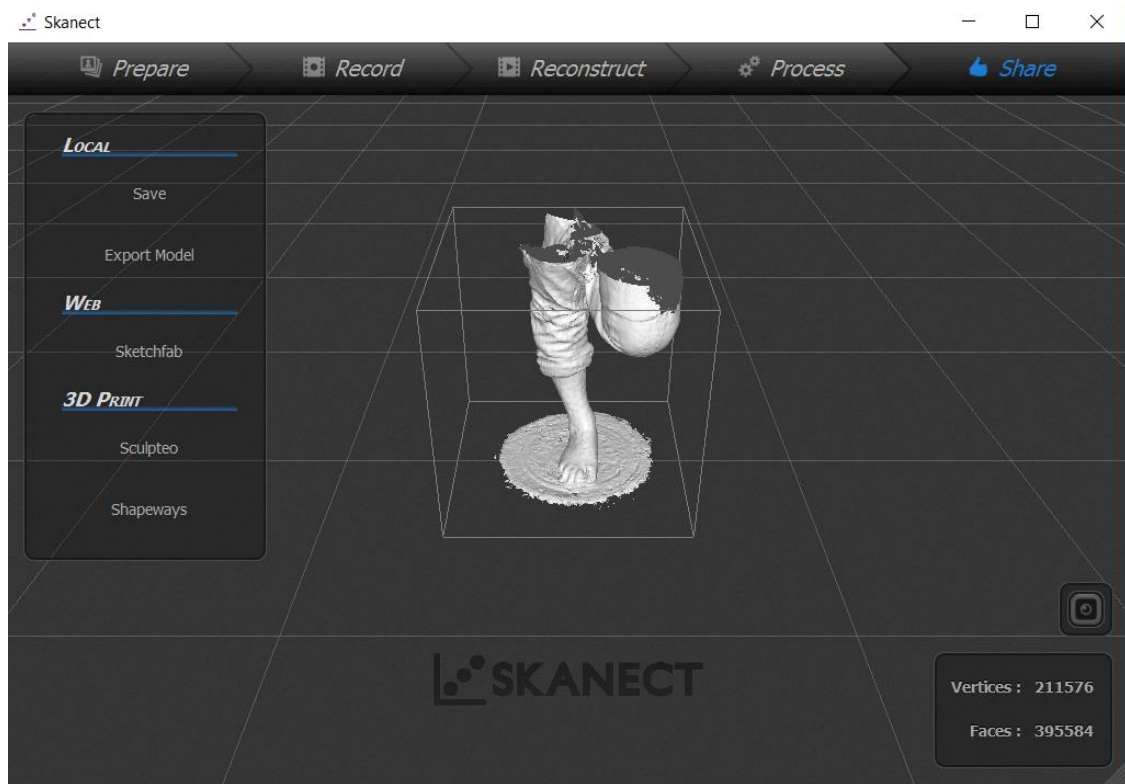
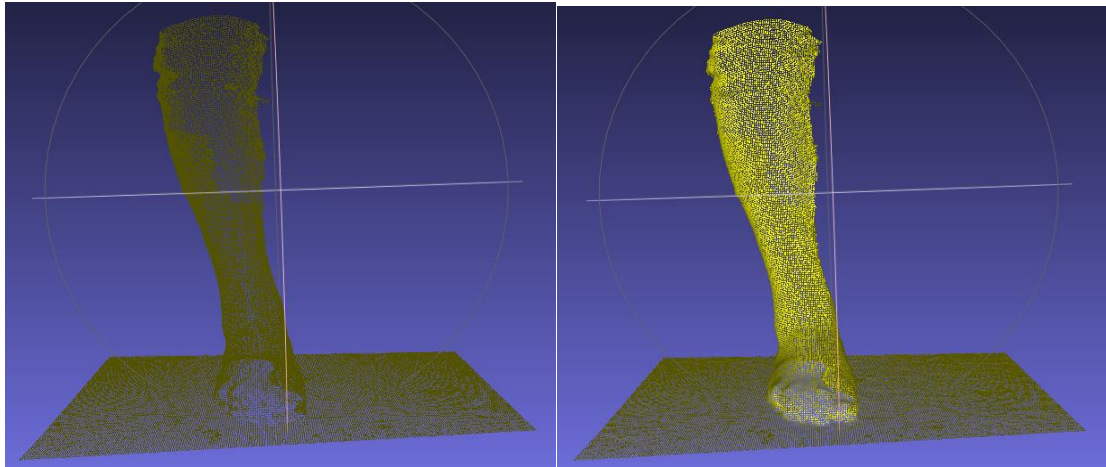


Figura 76. Resultado final de las pruebas realizadas para la adquisición de los datos.

4.2.1 Pruebas realizadas en el procesamiento de imágenes

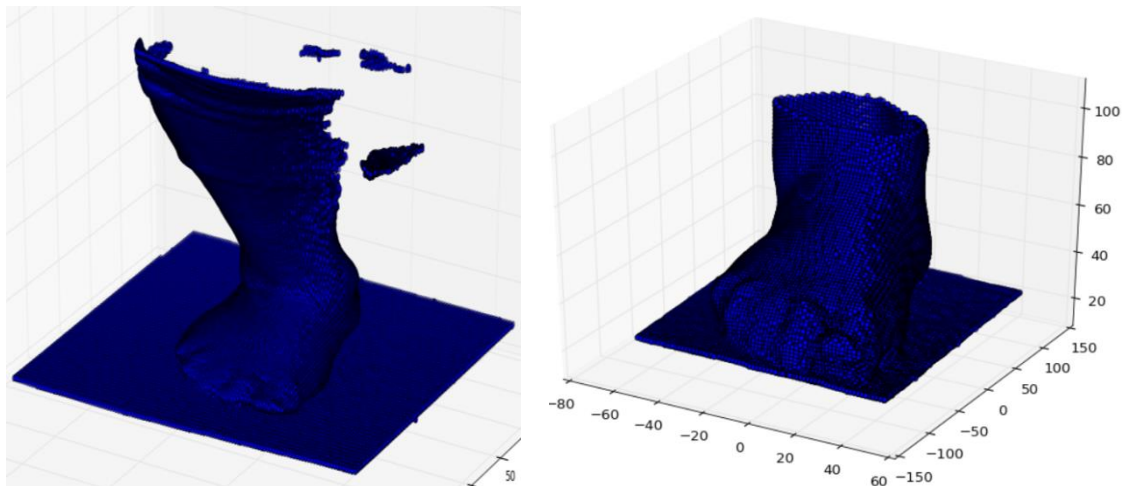
En la Figura 77 se muestra la prueba implementada para eliminar las caras de las normales de la imagen tridimensional, las pruebas se realizaron mediante códigos de programación que fueron empleados en el software Python. En la figura 77 a; se observa la imagen 3D antes de realizar la eliminación de las normales a las caras 3D, en cambio en la figura 77 b se observa la imagen 3D después de realizar la eliminación de las normales a las caras 3D.



a) Pie con las normales a las caras 3D b) Pie sin las normales a las caras 3D

Figura 77. Prueba de eliminación de las normales a las caras 3D de la imagen tridimensional.

En la Figura 78 se muestra la prueba realizada para la limitación de las imágenes tridimensionales, donde los recortes son realizados mediante códigos de programación que fueron empleados en el software Python. En la figura 78 a; se muestra la imagen tridimensional completa sin ninguna delimitación; por el contrario, en la figura 78 b se muestra la imagen tridimensional ya delimitada al volumen de interés donde se divide solamente el pie, la imagen delimitada será utilizada posteriormente para la determinación del valgus índice del pie humano.

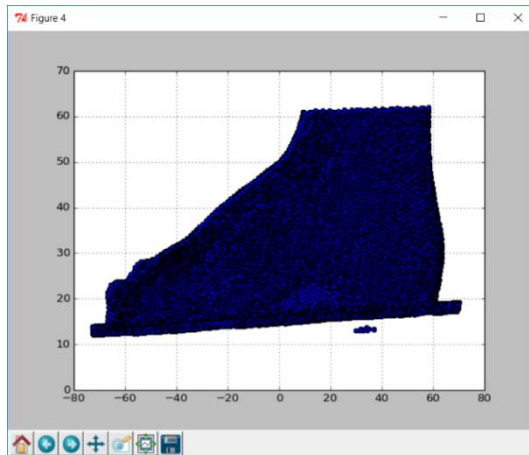


a) Imagen del pie en 3D sin delimitar b) Imagen del pie en 3D delimitado

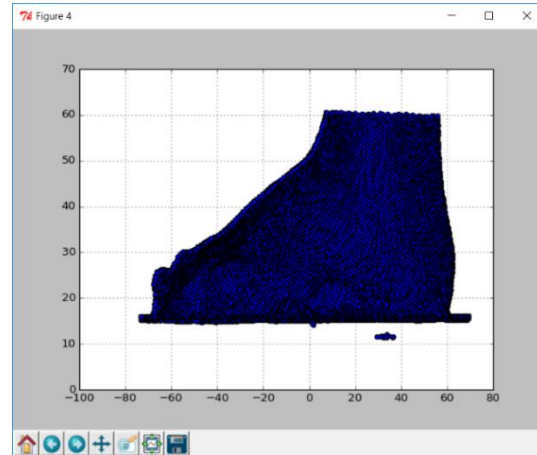
Figura 78. Prueba del recorte de la imagen tridimensional.

En la Figura 79 se muestran los resultados de las pruebas realizadas para la orientación de las imágenes tridimensionales, para lo cual se emplean códigos de programación en el software Python. Se debe recalcar que en la imagen 3D no se puede divisar correctamente si la imagen se encuentra o no orientada, por lo tanto, para visualizar la rotación de la imagen en los ejes “X” y “Z”, se presenta imágenes en dos dimensiones para ser analizadas.

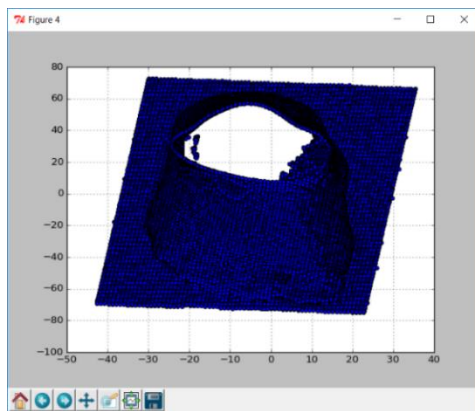
En la figura 79 (a); se observa la imagen en el plano YZ en dos dimensiones sin rotación en ningún eje, en la figura 79 (b) se visualiza la imagen en el plano YZ en dos dimensiones rotada en el eje z, en la figura 79 (c) se observa la imagen en el plano XY en dos dimensiones sin rotación, en la figura 79 (d) se muestra la imagen en el plano XY en dos dimensiones rotada en el eje x. Como resultado final de las rotaciones en el eje “X” y en el eje “Z”, se puede observar en la figura 79 (e) la imagen del pie tridimensional totalmente orientada.



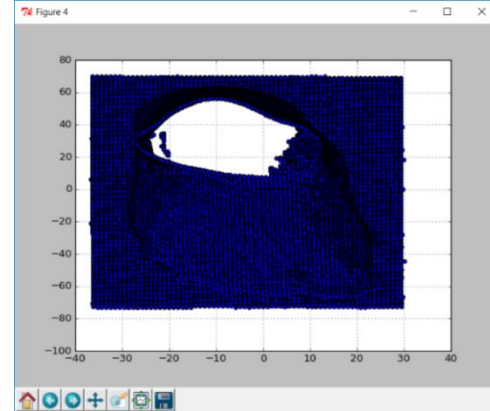
a) Imagen del pie en 2D sin rotar



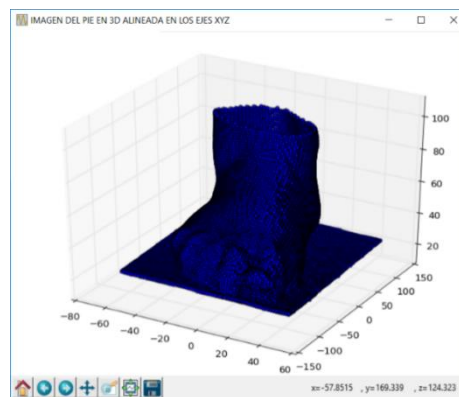
b) Imagen del pie en 2D rotado en el eje z



c) Imagen del pie en 2D sin rotar



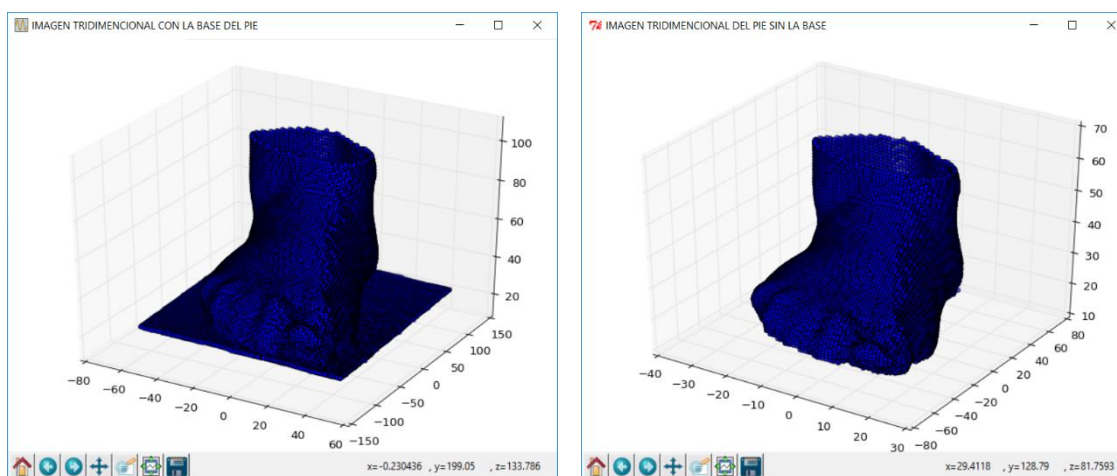
d) Imagen del pie en 2D rotado en el eje x



e) Resultado de la imagen 3D rotada en los 3 ejes

Figura 79. Pruebas de la rotación de la imagen en dos y tres dimensiones.

A continuación, se representan los resultados de las pruebas para la eliminación de la base en la que se encuentra asentado el pie, como se observa en la Figura 80. Para la realización de esta prueba se emplearon códigos de programación en el software Python, donde en la figura 80 (a) se visualiza la imagen tridimensional con la base en la que se encuentra asentado el pie. Como resultado del procesamiento realizado tenemos la figura 80 (b) donde se observa la imagen 3D sin la base.

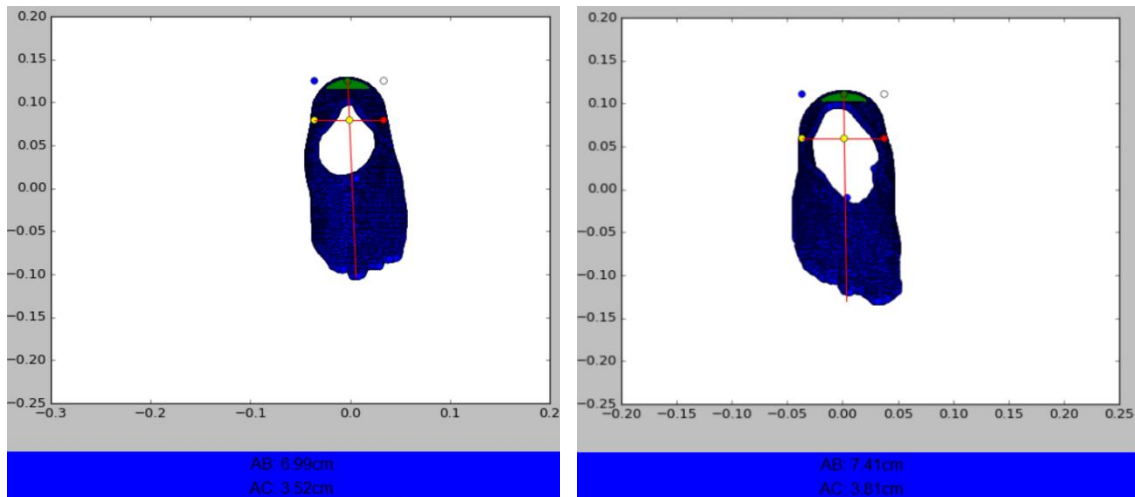


a) Imagen del pie en 3D con la base

b) Imagen del pie en 3D sin la base

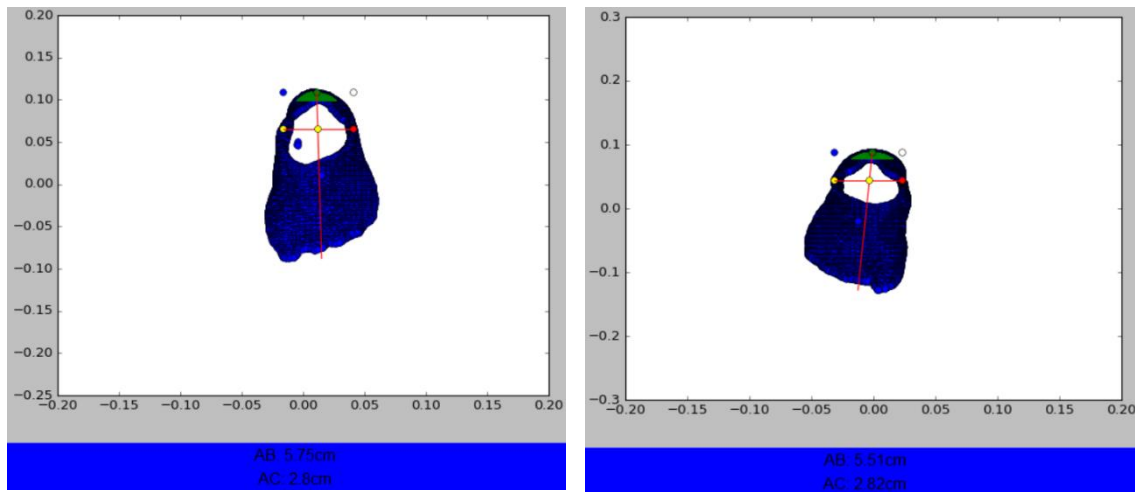
Figura 80. Prueba de eliminación de la base donde se encuentra asentado el pie tridimensional.

En la Figura 81 se observan las pruebas realizadas para obtener las medidas del pie y así posteriormente determinar el valgus índice del pie, para lo cual se emplea códigos de programación en el software Python. Cabe recalcar que, para mejor visualización de las pruebas, las imágenes se presentaran en dos dimensiones. En la figura 81 (a) se muestra la prueba realizada con las medidas del pie izquierdo de un paciente adulto, en la figura 81 (b) se muestra la prueba realizada con las medidas del pie derecho de un paciente adulto, en la figura 81 (c) se muestra la prueba realizada con las medidas del pie izquierdo de un niño y finalmente en la figura 81 (d) se muestra la prueba realizada con las medidas del pie derecho de un niño.



a) Pie izquierdo en 2D (adulto)

b) Pie derecho en 2D (adulto)



c) Pie izquierdo en 2D (niños)

d) Pie derecho en 2D (niños)

Figura 81. Pruebas realizadas en dos dimensiones para obtener las medidas del pie en niños y adultos.

4.3 Análisis de los resultados

Como se mencionó anteriormente, se realizaron pruebas en niños, jóvenes y adultos siendo analizadas cada una de ellas con el sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales. Para realizar las diferentes pruebas, es necesario tener en cuenta que el paciente en el proceso realizado debe estar con el pie descalzo y sin media, debe colocar un solo pie en el centro de la plataforma giratoria con su frente hacia la cámara Kinect ya sea el pie derecho o izquierdo, siendo esa la manera adecuada para realizar la adquisición de las imágenes tridimensionales. A continuación, se presentan los análisis de las pruebas realizadas.

4.3.1 Análisis en la adquisición de los datos

Al comprobar el funcionamiento de la adquisición de los datos en cada uno de los pacientes, se realiza el análisis en la obtención de la imagen tridimensional del total de personas que fueron escaneadas ya sean niños, jóvenes y adultos. Mientras uno de los dos pies se encuentra en el proceso de adquisición de los datos el otro pie obligatoriamente debe ser elevado a 40 cm de altura para que no interfiera en el escaneo de la imagen solapando la misma. Cuando la plataforma giratoria se pone en movimiento, al momento de realizar el escaneo la persona debe permanecer en una posición estática durante un minuto que es el tiempo aproximado que demora la adquisición de los datos, para ayudar a la persona a mantener el equilibrio se colocó en la plataforma una baranda metálica de forma circular. En la Figura 82 se observa todos los elementos mencionadas anteriormente.

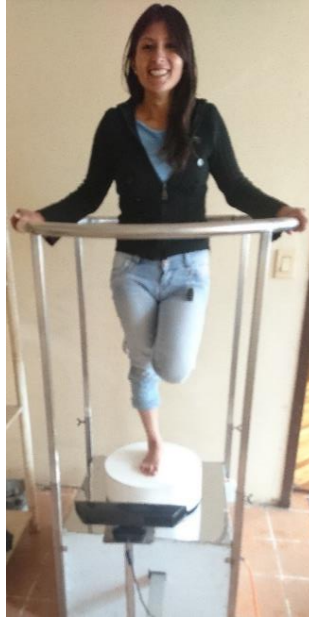


Figura 82. Imagen con la posición correcta para la adquisición de los datos.

Para el análisis de la adquisición de los datos se adquirieron imágenes de los pies de 55 personas, dando un total de 110 muestras considerando tanto los pies derechos como los izquierdos en niños, jóvenes y adultos. En la adquisición se presentaron 108 imágenes correctas y 2 imágenes fallidas las cuales se produjeron por el movimiento involuntario de los pacientes, por esta razón se debe tomar en cuenta que este tipo de escaneo no se debe realizar a niños menores de 9 años ya que pueden existir posturas inadecuadas o movimientos involuntarios que pueden afectar a las mediciones y presentando datos erróneos en la adquisición. En la

Tabla 6 se presentan los valores anteriormente mencionados.

Tabla 6.

Valores correctos y fallidos de las pruebas realizadas para la adquisición de los datos en niños, jóvenes y adultos.

TIPOS DE PACIENTES	NÚMERO DE PACIENTE	PRUEBAS REALIZADAS	PRUEBAS FALLIDAS	PRUEBAS CORRECTAS
NIÑOS	32	64	1	63
JÓVENES Y ADULTOS	23	46	1	45
TOTAL	55	110	2	108

4.3.1 Análisis en el sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales para la detección del valgus índice del pie.

Al comprobar el funcionamiento del sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales en cada uno de los pies de la persona, se realiza el análisis en la imagen 3D para la detección del valgus índice del pie, por lo cual se realizan pruebas con niños, jóvenes y adultos, teniendo así un total de 110 muestras.

Las primeras personas en ser analizadas fueron pacientes jóvenes y adultos con edades comprendidas entre 15 a 74 años, para ello se determina si la persona o el paciente padece o no de:

- Pie Valgo
- Pie Varo
- Pie Normal

Estos son los resultados que se obtendrán en cada uno de los jóvenes y adultos al realizar el análisis de cada uno de sus pies. En la Tabla 7 se presentan los datos que se obtuvieron con el análisis del sistema de procesamiento de

imágenes, dando como resultado si el paciente posee pie varo, valgo o normal. Para realizar el estudio se consideró un número de 23 pacientes entre jóvenes y adultos dándonos un total de 46 muestras, obteniendo dos muestras por cada persona del pie izquierdo y pie derecho.

Tabla 7.

Resultados del sistema de procesamiento de imágenes 3D para la detección del valgus índice en jóvenes y adultos del pie derecho e izquierdo.

RESULTADO DE LA DETECCIÓN DEL VALGUS INDEX EN PACIENTE JÓVENES Y ADULTOS			
PACIENTES N°	EDAD	PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO
1	52	VARO	VARO
2	58	VARO	VARO
3	50	VARO	VARO
4	20	VARO	VARO
5	29	NORMAL	NORMAL
6	28	NORMAL	NORMAL
7	39	NORMAL	NORMAL
8	74	NORMAL	VARO
9	60	VALGO	NORMAL
10	18	NORMAL	VARO
11	20	VARO	VARO
12	15	NORMAL	NORMAL
13	39	VARO	NORMAL
14	52	NORMAL	NORMAL
15	37	VARO	VARO
16	49	VARO	VARO
17	44	VARO	VARO
18	28	VARO	VARO
19	41	VARO	VARO
20	42	NORMAL	NORMAL
21	43	VALGO	VALGO
22	35	NORMAL	NORMAL
23	33	NORMAL	NORMAL

Para una mejor comprensión de la Tabla 7, se presenta los resultados del pie izquierdo en la Figura 83, cuyos datos se presentan en una imagen gráfica tipo pastel donde nos indica el número de pacientes que padecen o no la enfermedad del valgus índex ya sea valgo, varo o normal. Con los resultados que se obtienen de pacientes jóvenes y adultos podemos determinar que existe un 48% de personas que padece de pie varo con 11 muestras, un 43% de personas que tienen pie normal con 10 muestras y un 9% de personas que padece de pie valgo con 2 muestras de un total de 23 muestras en el pie izquierdo.

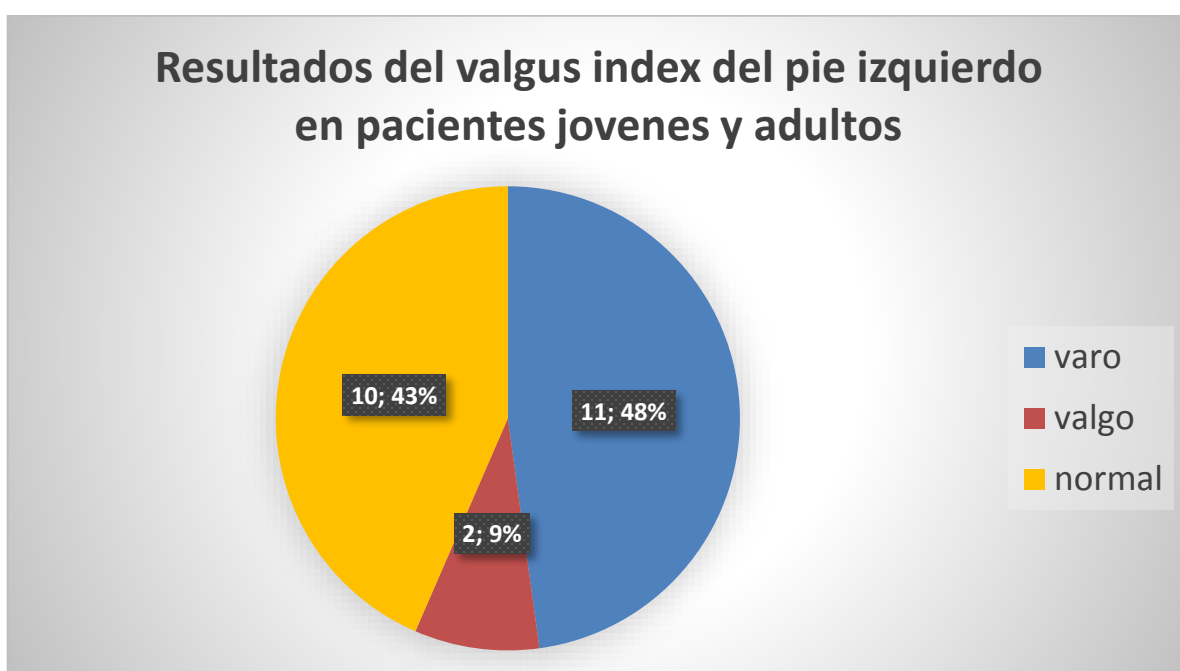


Figura 83. Resultados obtenidos del sistema para determinar la enfermedad del valgus índex en jóvenes y adultos del pie izquierdo (pie varo, pie valgo o pie normal).

Para un mejor entendimiento de la Tabla 7, en la Figura 84 se muestran los resultados que se obtienen al tomar los datos del pie derecho, donde dichos datos se presentan en una imagen gráfica tipo pastel en la cual se indica el número de pacientes que padecen o no del valgus índex ya sea valgo, varo o normal. Con los resultados que se obtienen de jóvenes y adultos se puede determinar que existe

un 52% de personas que padece de pie varo con 12 muestras, un 44% de personas que tiene pie normal con 10 muestras y un 4% de personas que padece de pie valgo con una muestra de un total de 23 muestras en el pie derecho.

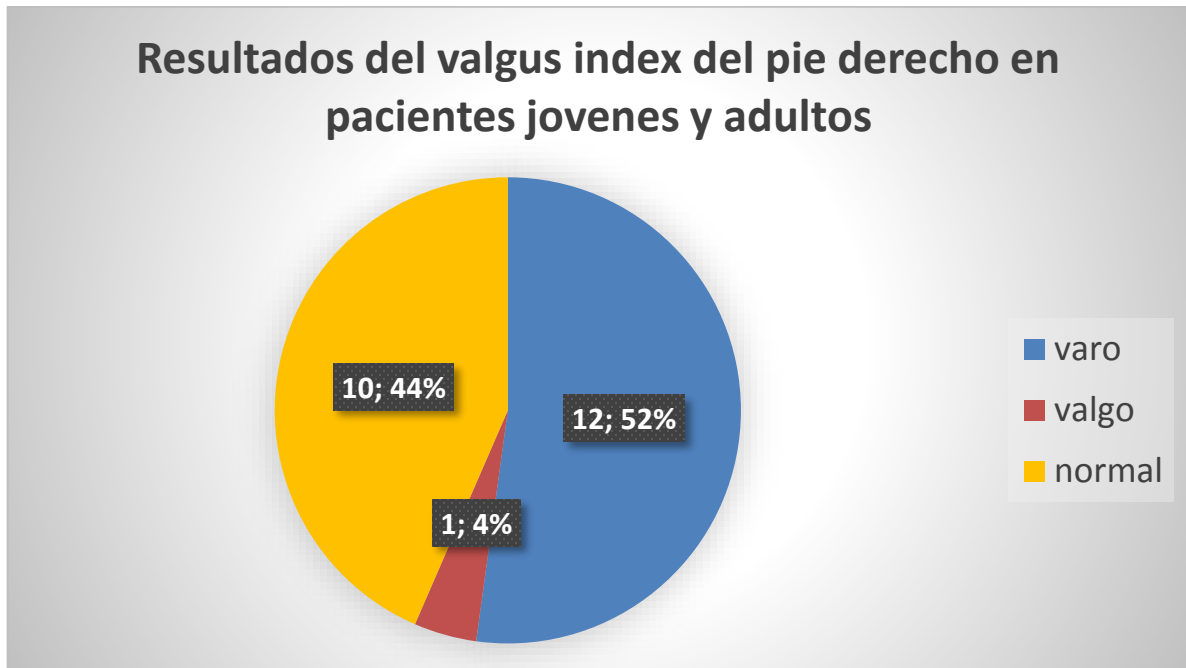


Figura 84. Resultados obtenidos del sistema para determinar la enfermedad del valgus índice en jóvenes y adultos del pie derecho (pie varo, pie valgo o pie normal).

En la

Tabla 8 se presenta los datos que se obtienen con el análisis del sistema de procesamiento de imágenes, dando como resultado si padece de pie varo, valgo o normal. Para realizar el estudio se utilizaron a 32 pacientes, los cuales son niños con edades comprendidas entre 9 a 13 años dándonos un total de 64 muestras, obteniendo dos muestras por cada persona que corresponden al pie izquierdo y pie derecho.

Tabla 8.

Resultados del sistema de procesamiento de imágenes 3D para la detección del valgus índex en pacientes niños del pie derecho e izquierdo.

RESULTADO DE LA DETECCION DEL VALGUS INDEX EN PACIENTE NIÑOS			
PACIENTES N°	EDAD	PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO
1	10	VARO	NORMAL
2	10	VARO	VARO
3	10	VARO	VARO
4	10	VARO	VARO
5	10	VARO	NORMAL
6	11	VARO	VARO
7	10	NORMAL	VALGO
8	10	VARO	VARO
9	10	VALGO	NORMAL
10	10	VARO	NORMAL
11	9	VARO	VARO
12	9	NORMAL	NORMAL
13	9	NORMAL	NORMAL
14	10	VARO	NORMAL
15	10	VARO	VARO
16	10	VARO	NORMAL
17	11	VARO	VARO
18	11	VARO	NORMAL
19	10	VARO	VARO
20	10	VARO	NORMAL
21	10	VARO	VARO
22	10	VARO	NORMAL
23	12	VARO	NORMAL
24	10	NORMAL	NORMAL
25	10	VARO	VARO
26	10	NORMAL	NORMAL
27	11	VARO	VARO
28	10	NORMAL	NORMAL

CONTINÚA 

29	11	VARO	VARO
30	10	VALGO	VALGO
31	10	NORMAL	VARO
32	13	VARO	VARO

Para una mejor comprensión de la

Tabla 8, se presentan los resultados del pie izquierdo en la Figura 85, cuyos datos se muestran en una imagen gráfica tipo pastel donde nos indica el número de pacientes que padecen o no el valgus índex ya sea de pie valgo, varo o normal. Con los resultados que se obtienen en los niños se puede determinar que existe un 72% de personas que padece de pie varo con 23 muestras, un 22% de personas que tiene pie normal con 7 muestras y un 6% de personas que padece de pie valgo con 2 muestras de un total de 32 muestras en el pie izquierdo.

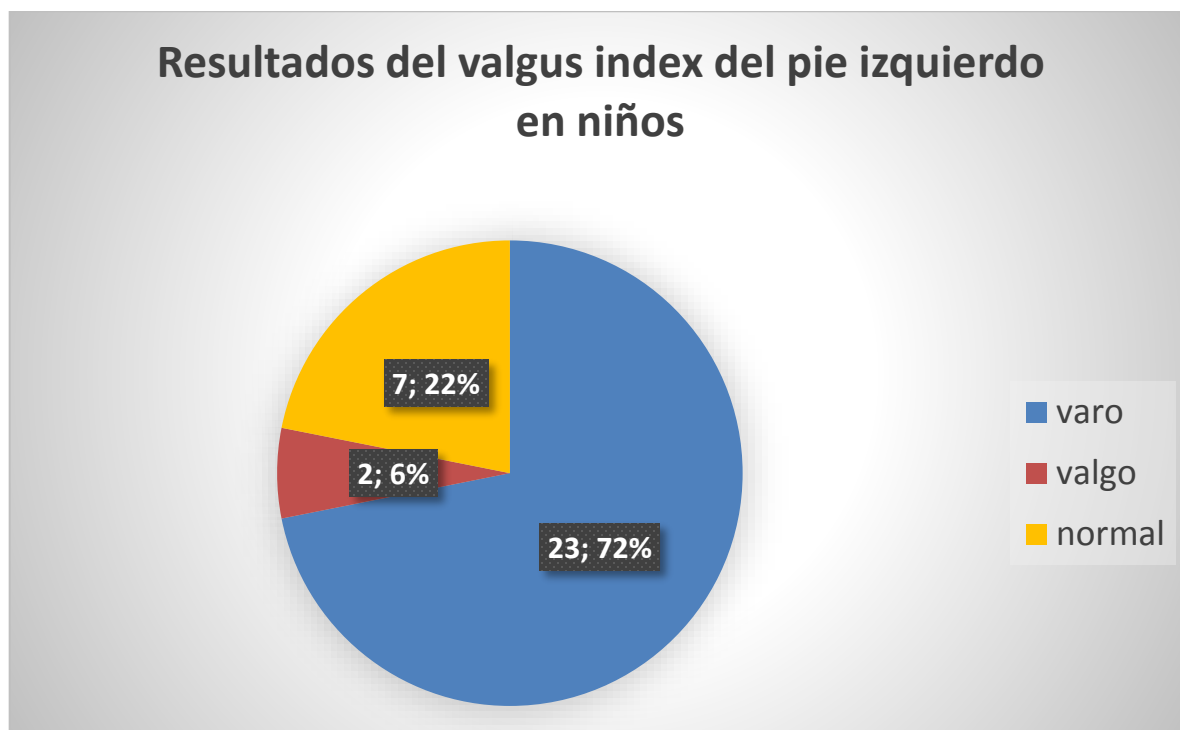


Figura 85. Resultados obtenidos del sistema para determinar el valgus índice en niños del pie izquierdo (pie varo, pie valgo o pie normal).

Para un mejor entendimiento de la

Tabla 8, en la Figura 86 se muestran los resultados que se obtienen del pie derecho, donde los datos se presentan en una imagen gráfica tipo pastel en la cual se indica el número de pacientes que padecen o no el valgus índice ya sea de pie valgo, varo o normal. Con los resultados obtenidos en los niños podemos determinar que existe un 47% de personas que padece de pie varo con 15 muestras, un 47% de personas que tiene pie normal con 15 muestras y un 6% de personas que padece de pie valgo con dos muestras de un total de 32 muestras en el pie derecho.

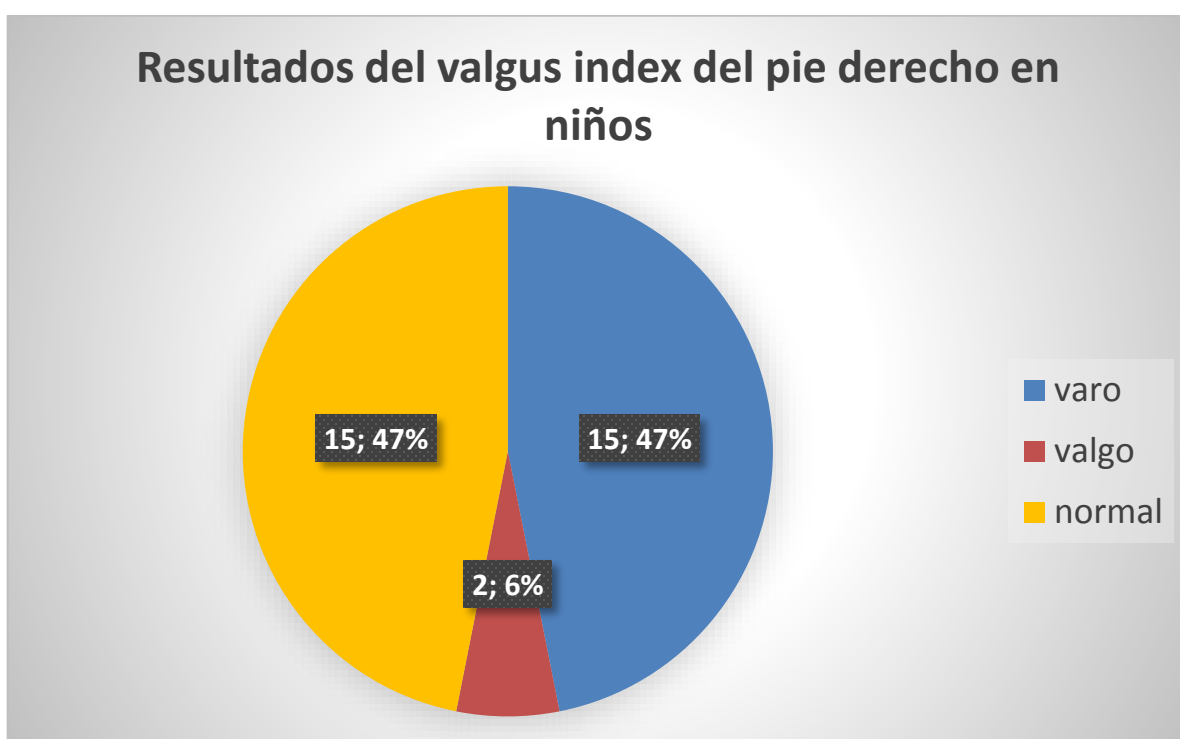


Figura 86. Resultados obtenidos del sistema para determinar la enfermedad del valgus índice en niños del pie derecho (pie varo, pie valgo o pie normal).

Para analizar el sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales también se realizan pruebas a una misma persona teniendo así 20 muestras del mismo paciente, 10 del pie izquierdo y 10 del pie derecho como se muestra en la Tabla 9. Para el análisis de la tabla 4 se considera el valor y el resultado, donde el

valor es el cálculo del valgus índice y para el resultado de debe comparar dicho valor con las condiciones siguientes; si el valor es menor al 11 su resultado es pie varo, si el valor es mayor a 14 su resultado es pie valgo y si el valor se encuentra entre 11 y 14 el resultado es pie normal.

Tabla 9.

Resultados del sistema de procesamiento de imágenes 3D para la detección del valgus índice en una misma persona del pie derecho e izquierdo.

RESULTADOS DE LA DETECCIÓN DEL VALGUS INDEX EN UNA PERSONA				
NÚMERO DE PRUEBAS	PIE IZQUIERDO		PIE DERECHO	
	VALOR	RESULTADO	VALOR	RESULTADO
1	8.36	VARO	9.42	VARO
2	8.43	VARO	9.75	VARO
3	8.91	VARO	9.32	VARO
4	8.66	VARO	9.83	VARO
5	8.41	VARO	9.66	VARO
6	8.57	VARO	9.51	VARO
7	8.38	VARO	9.47	VARO
8	8.86	VARO	9.81	VARO
9	8.73	VARO	9.67	VARO
10	8.53	VARO	9.41	VARO

En la Figura 87 se presenta los valores que se obtiene del pie izquierdo, cuyos datos corresponden a 10 muestras analizadas a una sola persona. En la Tabla 9 se observa que el resultado nos da pie varo en todas las pruebas realizadas tomando en cuenta que el valor del valgus oscila en un valor mínimo de 8.36 a 8.91, el mismo que se produce por el descanso que realiza la persona a cada escaneo. En la figura 87 se visualiza el mínimo cambio que existe de un valor a otro en la obtención del valor valgus índice, por lo que se analiza que no afecta en la determinación del valgus índice del pie.

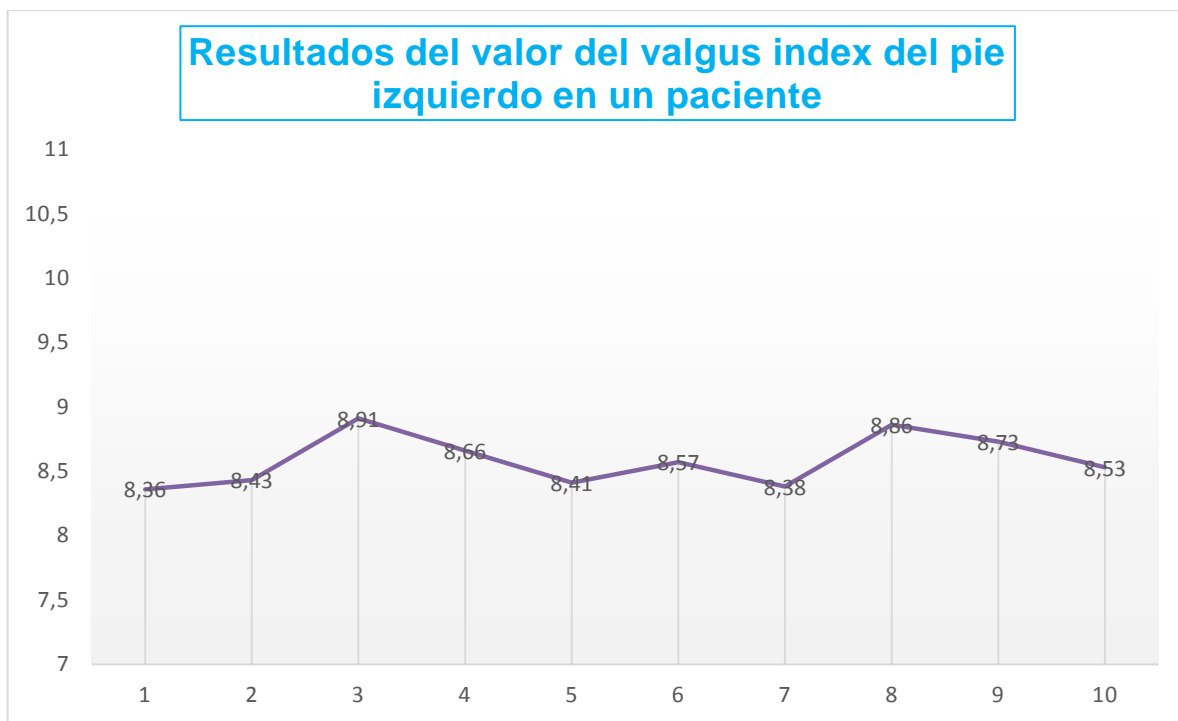


Figura 87. Resultados obtenidos del sistema para determinar el valor del valgus índice en el pie izquierdo de un paciente.

En la Figura 88 se presentan los valores obtenidos del pie derecho, los cuales corresponden a 10 muestras analizadas a una sola persona. En la Tabla 9 se observa que el resultado es un pie varo en todas las pruebas realizadas tomando en cuenta que el valor del valgus índice oscila en un valor mínimo de 9.32 a 9.83, el mismo que se produce por el descanso que realiza la persona a cada escaneo, donde no coloca el pie en la misma posición que se encontraba anteriormente. En la **Figura 87** **Figura 87. Resultados obtenidos del sistema para determinar el valor del valgus índice en el pie izquierdo de un paciente.** se visualiza el mínimo cambio que existe de un valor a otro en la obtención del valor valgus índice, por lo que se analiza que no nos afecta en la determinación del valgus índice del pie.

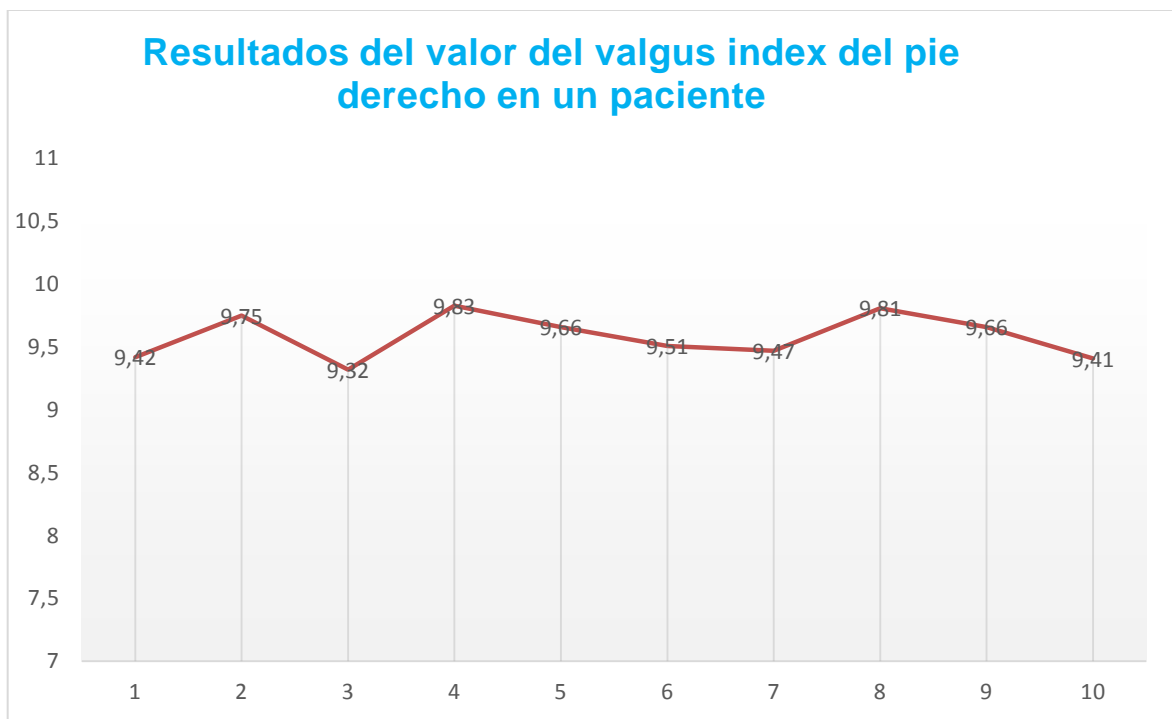


Figura 88. Resultados obtenidos del sistema para determinar el valor del valgus índice en el pie derecho de un paciente.

4.4 Discusión de los resultados

En la Tabla 10 se presentan los resultados de las 110 muestras realizadas en niños, jóvenes y adultos. Con la realización de estas pruebas se determina que existe un gran porcentaje de niños que padecen de la enfermedad del valgus índice en comparación con los jóvenes y adultos. Se llega a la conclusión que el motivo de que exista un gran porcentaje de niños con esta enfermedad es porque desconocen de la existencia de este tipo de problema por lo que no acuden a los médicos especialistas, en cambio las pruebas en jóvenes y adultos fueron realizadas a personas que ya tuvieron molestias al caminar por ende acudieron al médico especialista.

Tabla 10.

Resultados totales de niños, jóvenes y adultos del sistema de procesamiento de imágenes 3D para la detección del valgus índice del pie derecho e izquierdo.

RESULTADOS TOTALES DE LA DETECCIÓN DEL VALGUS INDEX EN NIÑOS, JÓVENES Y ADULTOS					
	NIÑOS		JÓVENES Y ADULTOS		TOTAL
	PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO	PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO	
VARO	23	15	11	12	61
VALGO	2	2	2	1	7
NORMAL	7	15	10	10	42
TOTAL, DE TODAS LAS MUESTRAS					110

Para una mejor comprensión de la Tabla 10 se presentan las figuras 89 y 90 donde se visualiza en porcentajes las pruebas realizadas para la obtención del valgus índice. Como se observa en las dos figuras, la mayoría de las personas sean niños, jóvenes o adultos padecen pie varo, muy pocas personas padecen de pie valgo ya sea en niños, jóvenes o adultos. También se puede determinar que existe mayor porcentaje de personas con pie varo en niños que en los jóvenes y adultos.

Resultados de la determinación del valgus index en niños del pie izquierdo y derecho

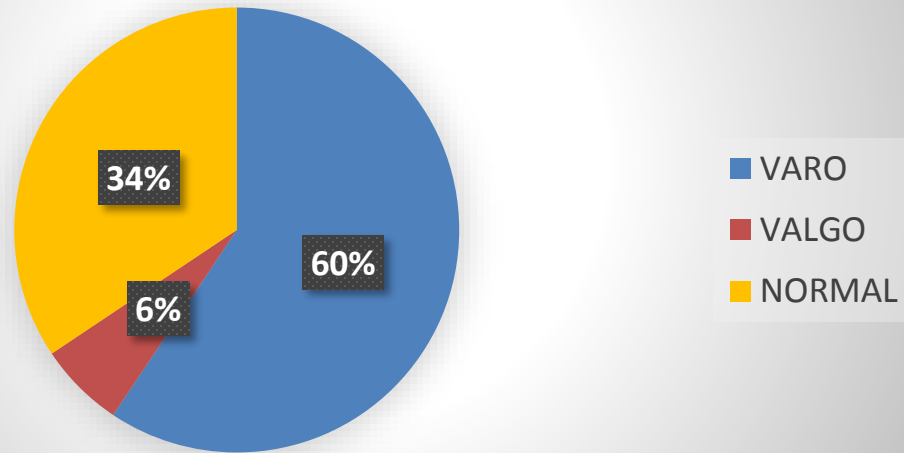


Figura 89. Resultados totales de la detección del valgus índex en niños del pie izquierdo y derecho.

Resultados de la determinación del valgus index en jóvenes y adultos del pie izquierdo y derecho

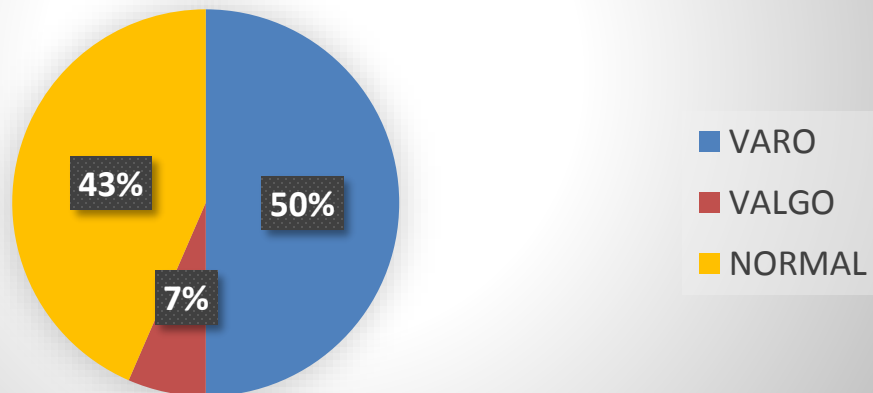


Figura 90. Resultados totales de la detección del valgus índex en jóvenes y adultos del pie izquierdo y derecho.

En la Figura 89 se muestran los resultados de 110 muestras realizadas dando un total de 61 muestras de pie varo, 42 de pie normal y 7 de pie valgo, esto quiere decir que existen muy pocas personas que acuden al médico a realizarse un estudio por lo que existe un gran porcentaje de personas que padecen esta enfermedad ya sea de pie valgo o varo sin tener conocimiento de ello. Con este análisis se observa que la mayoría de las personas que padecen del valgus índex son de pie varo y muy pocas personas padecen de pie valgo.

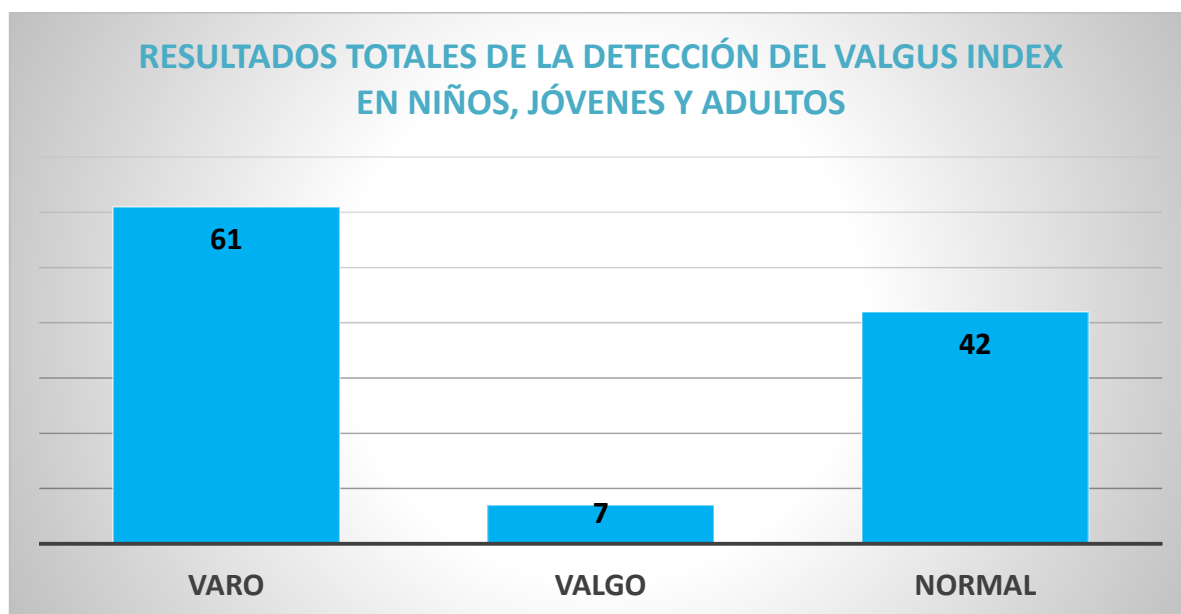


Figura 91. Resultados totales de la detección del valgus índex en niños, jóvenes y adultos.

4.5 Comprobación de la hipótesis

La hipótesis planteada para este proyecto de investigación fue la siguiente:

El uso del sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales, ¿permitirá determinar la existencia de la enfermedad del valgus índex en el pie de una persona?

Al culminar el presente proyecto de investigación se alcanzó los siguientes resultados, los cuales permiten verificar la hipótesis planteada.

Tabla 11.

Datos obtenidos de las pruebas realizadas con el sistema y el médico especialista para la determinación del valgus índice.

PACIENTES		RESULTADO DE LA DETECCIÓN DEL VALGUS ÍNDEX POR EL SISTEMA		COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL SISTEMA CON EL MÉDICO ESPECIALISTA	RESULTADO DE LA DETECCIÓN DEL VALGUS ÍNDEX POR EL MÉDICO ESPECIALISTA	
N°	EDAD	PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO		PIE IZQUIERDO	PIE DERECHO
1	10	VARO	NORMAL	CORRECTO	VARO	NORMAL
2	10	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
3	10	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
4	10	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
5	10	VARO	NORMAL	CORRECTO	VARO	NORMAL
6	11	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
7	10	NORMAL	VALGO	CORRECTO	NORMAL	VALGO
8	10	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
9	10	VALGO	NORMAL	CORRECTO	VALGO	NORMAL
10	10	VARO	NORMAL	INCORRECTO	NORMAL	NORMAL
11	9	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
12	9	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
13	9	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
14	10	VARO	NORMAL	CORRECTO	VARO	NORMAL
15	10	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
16	10	VARO	NORMAL	CORRECTO	VARO	NORMAL
17	11	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
18	11	VARO	NORMAL	CORRECTO	VARO	NORMAL
19	10	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
20	10	VARO	NORMAL	CORRECTO	VARO	NORMAL
21	10	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
22	10	VARO	NORMAL	CORRECTO	VARO	NORMAL
23	12	VARO	NORMAL	CORRECTO	VARO	NORMAL
24	10	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
25	10	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
26	10	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
27	11	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
28	10	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL

CONTINÚA 

29	11	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
30	10	VALGO	VALGO	CORRECTO	VALGO	VALGO
31	10	NORMAL	VARO	CORRECTO	NORMAL	VARO
32	13	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
33	52	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
34	58	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
35	50	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
36	20	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
37	29	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
38	28	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
39	39	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
40	74	NORMAL	VARO	CORRECTO	NORMAL	VARO
41	60	VALGO	NORMAL	CORRECTO	VALGO	NORMAL
42	18	NORMAL	VARO	INCORRECTO	NORMAL	NORMAL
43	20	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
44	15	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
45	39	VARO	NORMAL	CORRECTO	VARO	NORMAL
46	52	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
47	37	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
48	49	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
49	44	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
50	28	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
51	41	VARO	VARO	CORRECTO	VARO	VARO
52	42	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
53	43	VALGO	VALGO	CORRECTO	VALGO	VALGO
54	35	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL
55	33	NORMAL	NORMAL	CORRECTO	NORMAL	NORMAL

En la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos por el sistema y el médico especialista para la determinación del valgus índice del pie humano, a la vez se presenta la comparación entre el sistema y el médico dando como resultado la evaluación del estado del pie valgo, varo o normal en cada uno de sus pies en niños, jóvenes y adultos.

Tabla 12.

Datos totales de las pruebas realizadas con el sistema y el médico especialista para la determinación del valgus índice y el porcentaje de aceptación del sistema.

TIPO DE PACIENTES	DATOS EVALUADOS POR EL SISTEMA			DATOS EVALUADOS POR EL ESPECIALISTA			CERTEZA DEL SISTEMA	
	CON VALGUS ÍNDEX	SIN VALGUS ÍNDEX	TOTAL	CON VALGUS ÍNDEX	SIN VALGUS ÍNDEX	TOTAL	CON VALGUS ÍNDEX	SIN VALGUS ÍNDEX
NIÑOS	42	22	64	41	23	64	97.56%	95.65%
JÓVENES Y ADULTOS	26	20	46	25	21	46	96.15%	95.23%
TOTAL	68	42	110	66	44	110	96.86%	94.44%

En la Tabla 12 se muestran las evaluaciones obtenidas por el sistema y por el médico especialista para la determinación del estado del valgus índice y a la vez el porcentaje de aceptación de los datos. Con valores obtenidos se calcula el error absoluto y el error relativo de pacientes que padecen del valgus índice y de pacientes que no padecen del valgus índice:

Ea = Error Absoluto

Er = Error Relativo

kVe = Valor Exacto

Va = Valor Aproximado

Cálculo del error absoluto y relativo de pacientes que padecen del valgus índice considerando como correcta la valoración del médico, a pesar de que por la apreciación subjetiva puede estar incorrecta:

$$Ea = |Ve - Va| = |110 - 108| = 2$$

$$Er = \frac{Ea}{Ve} * 100\% = \frac{2}{110} * 100\% = 1.81\%$$

Al realizar la comparación de los datos obtenidos por el sistema y el médico especialista, se analiza que el sistema si es eficiente ya que el error es muy pequeño (1.81 %) en la determinación del valgus índice, donde se analizaron 55 personas dando un total de 110 pruebas de las cuales únicamente solo 2 fueron erradas y 108 correctas en comparación con el médico especialista, por lo que se comprueba la hipótesis aceptando que el sistema si permite determinar la existencia del valgus índice en el pie de una persona. Un sistema que tiene un error de certeza inferior al 5% es aceptable.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con la implementación del proyecto se logró comprobar la hipótesis, ya que se implementó un sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales utilizando un software libre que nos permitió determinar si las personas padecen o no de la enfermedad del valgus índice del pie humano.

El programa realizado presenta un diagnóstico general, siendo el mismo una recomendación que se le brinda a la persona para que acuda a un médico especialista en el área, el medico será la persona que verifique el estado en que se encuentra el nivel del valgus índice del pie en el paciente.

El sistema se implementó con la finalidad de eliminar los obsoletos métodos tradicionales los cuales son molestos para el paciente y además se requiere de mucho tiempo al momento de determinar esta enfermedad; por ende el sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales es más sencillo de realizar ya que se obtiene una imagen del paciente en 3D y se procede a trabajar con dicha imagen, por ende la presencia del paciente es requerida por un lapso de un minuto al momento de adquirir los datos.

La medida del cuadro delimitador en el software Skanect es de 0.5 m, donde la plataforma giratoria de asentamiento del pie también tiene una medida de 0.5 m, siendo así la medida ideal para la obtención de la imagen 3D, ya que si esta medida es mayor produce resultados no deseados debido a la presencia de los barrotes de la plataforma, pero si la medida es menor a 0.5m, la imagen del pie y la plataforma giratoria generan información incompleta, donde el procesamiento de

la imagen para la detección del valgus índice no se podrá determinar, dándonos así valores erróneos .

El uso de la cámara Kinect y el software Skanect permiten el escaneo de la imagen tridimensional del pie, donde el software Skanect nos ayuda a obtener la imagen en el computador de una manera fácil y sencilla, es muy amigable para el usuario, posee muchas prestaciones y es un software gratuito.

El utilizar un fondo blanco en la base del pie para la toma de las imágenes, permite que la adquisición de la imagen sea clara y sin elementos no deseados, por lo que se realizó pruebas con diferentes colores dándonos, así como mejor resultado al color blanco, ya que al momento del procesamiento de la imagen tridimensional se requiere una imagen bien escaneada.

El uso del software MeshLab permite la importación, exportación y el cambio de formato de la imagen tridimensional, las imágenes obtenidas por el software Skanect se encuentran en formato ply, donde el software Python no acepta este tipo de formato para su procesamiento de imágenes, por ende, es de mucha ayuda utilizar el software MeshLab para el cambio de formato de la imagen tridimensional.

Los errores que se obtuvieron al momento de obtener las imágenes tridimensionales, se deben a la mala colocación del pie del paciente, al no permanecer estático al momento del escaneo por lo que se generan unas pequeñas sombras (datos erróneos) las cuales generan cálculos erróneos en el sistema de procesamiento de imágenes 3D.

El sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales permite determinar el estado del valgus índice, donde se tiene una base de datos en la cual el médico especialista puede verificar el avance del tratamiento que se realiza al paciente, lo que sería más difícil realizar con los métodos tradicionales.

Los padres de los niños no acuden al médico especialista porque desconocen la existencia del valgus índex, por lo que con el pasar del tiempo empiezan a sentir molestias en sus pies, rodillas, cadera y por último en la espalda donde en ese momento es cuando acuden al médico especialista.

5.2 Recomendaciones

Colocar correctamente en la plataforma giratoria el pie del paciente de manera que se ubique al frente de la cámara Kinect, lo que evita que se generen pequeñas sombras en el escaneo de la imagen y por ende puedan producir datos erróneos e innecesarios en las mediciones.

Para una correcta comunicación entre la cámara Kinect y el software Skanect al momento de la adquisición de la imagen tridimensional, se debe instalar los drivers de la cámara Kinect en la computadora de manera correcta.

Colocar el pie del paciente que no va ser escaneado a una altura adecuada con el objetivo que no interfiera al momento de realizar el escaneo o la adquisición de los datos.

Los niños a ser analizados por el sistema deben tener una edad mayor a 6 años ya que si tienen menor edad son muy activos y no permanecen estáticos, por lo que no pueden permanecer estáticos durante el tiempo que se requiere para la toma de las imágenes, produciendo así imágenes con errores.

Tener en cuenta las características que posee el computador, ya que al realizar el procesamiento de las imágenes tridimensionales se utilizan los recursos de la computadora como son la memoria, el CPU y la tarjeta de video, por lo que se recomienda utilizar una computadora que contenga un procesador con una

velocidad de procesamiento mayor a 2.4 GHz, memoria de 8Gb y una tarjeta de video de 2Gb.

El valgus índice es poco conocido dentro de la provincia de Cotopaxi por lo que se desconoce de este tipo de problema, por lo cual es necesario que las personas se realicen un diagnóstico para verificar si padece alguna anomalía y así poder corregirla con un médico especialista.

Antes de trabajar con Python y sus librerías, se deben verificar la versión y el tipo de sistema operativo con que cuenta la computadora ya que no existen versiones actualizadas de las librerías, por ende, se tiene varios inconvenientes de compatibilidad con Python por lo que puede existir errores en la utilización del mismo.

El sistema puede funcionar cuando se abre la imagen de un solo pie del paciente, pero se recomienda abrir la imagen del pie derecho e izquierdo para que al momento de almacenar los datos del paciente no se registre información en la base de datos con valores vacíos.

Al momento de analizar un nuevo paciente se recomienda borrar los datos del paciente anterior que se encuentran en la interfaz gráfica, para que no existan errores en el cálculo de la determinación del valgus índice del pie humano.

Antes de trabajar con Python, las imágenes tridimensionales obtenidas a través de la cámara y el Skanect, se debe considerar el tipo de formato que genera la imagen 3D del Skanect y el tipo de formato de la imagen que acepta Python, para no tener inconvenientes ni valores erróneos con el procesamiento de la imagen tridimensional.

Al realizar la adquisición de la imagen tridimensional, la persona debe permanecer estática ya que si realiza algún movimiento produce datos erróneos de la imagen 3D adquirida, por lo que se recomienda modificar el sistema de adquisición de

datos, siendo ideal que la cámara sea la que rote los 360 grados alrededor del paciente.

En el sistema de adquisición de la imagen tridimensional se recomienda incluir un sistema de control automático que facilite la activación y desactivación de la plataforma giratoria al momento de realizar la adquisición de la imagen 3D.

El sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales podría ser aplicado para determinar diferentes tipos de deformaciones como son el pie plano, pie con dedos en garra, pie con juanetes, pie cavo, etc.

Para mejorar el sistema de procesamiento de imágenes tridimensionales, se debería incluir cálculos que nos permitan determinar el grado de avance del valgus index del pie, para proponer de manera inmediata las plantillas que requiera el paciente afectado para su recuperación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegsa. (01 de Enero de 2017). *Alegsa*. Recuperado (25 de Julio del 2016). Obtenido de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/renderizacion.php>
- Alviflex. (24 de Octubre de 2013). *Blog Alviflex*. Recuperado (20 de Enero del 2017). Obtenido de <http://www.alviflex.es/es/blog/117-como-ayudan-las-plantillas-para-el-pie-valgo>
- Arquigrafico*. (30 de Diciembre de 2016). Recuperado (15 de Junio del 2016). Obtenido de <http://www.arkigrafico.com/definicion-de-render-que-es-renderizacion/>
- Asencio, Á. (2015). *Balance Sport Clinic*. Recuperado (02 de Agosto del 2016). Obtenido de <http://balancesportclinic.com/pie-estructura-y-funcion/>
- Aznar, A. (31 de Diciembre de 2017). *Psicología de la percepción visual*. Recuperado (03 de Mayo del 2017). Obtenido de <http://www.ub.edu/pa1/node/panum>
- BOXBYTE. (30 de Junio de 2010). *BOXBYTE*. Recuperado (20 de Septiembre del 2016). Obtenido de <https://www.fayerwayer.com/2010/06/especificaciones-tecnicas-de-kinect/>
- Chile, E. (31 de Enero de 2017). *Educación Chile*. Recuperado (03 de Agosto del 2016). Obtenido de <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=133271>
- CYPBA. (2015). *Centro de Podología y Biomecánica ASPE*. Recuperado (08 de Noviembre del 2016). Obtenido de <http://www.cpyba.com/valgo.php>
- Deltakosh. (31 de Enero de 2017). *Eternal Coding*. Recuperado (27 de Octubre del 2016). Obtenido de <https://www.eternalcoding.com/?p=1663>
- Dorca Coll, Adellna; Céspedes Céspedes, Tomás; Concustell Gonfaus, José; Sacristán Valero, Sergi; Dorca Coll, Rosa. (s.f.). *Nuestro concepto actual del pie valgo*. Recuperado (3 de Mayo de 2016). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/files/604/16205634.pdf>
- Dorca, A. (2014). *Concepto actual del pie valgo*. Recuperado (07 de Febrero del 2017). Obtenido de <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/22847/1/127389.pdf>
- Fleming, D. (2015). Pie Valgo. *Centro de podología y biomecánica ASPE*, p. 12.
- Gadget*. (01 de Enero de 2017). Recuperado (04 de Julio del 2016). Obtenido de <https://www.itsagadget.com/2010/11/microsofts-kinect-sensor-is-now-officially-released.html>
- Innovative Treatment of Foot Disorders*. (s.f.). Recuperado (05 de Septiembre del 2016). Obtenido de <http://innofoot.ibv.org/>
- Jaramillo, A. (2005). *Transformaciones espaciales*. Recuperado (12 de Diciembre del 2016). Obtenido de http://www.wag.caltech.edu/home/ajaramil/libro_robotica/transformaciones_espaciales.pdf
- Jesús, M. (2006). Deformidades del pie. Madrid, España.
- Lorente, R. (24 de Mayo de 2012). *Podología General UCV 2011*. Recuperado (18 de Febrero del 2017). Obtenido de <http://pgucv2011.blogspot.com/2012/05/resumen-huella-plantar.html>
- Maicas, L. (27 de Septiembre de 2016). *Genesis Sample Theme on Genesis Framework*. Recuperado (15 de Marzo del 2017). Obtenido de <http://www.ortoweb.com/blogortopedia/plantillas-ortopedicas-medida/>
- Marcelino Reyes, Jesús. (1998). Clínica del pie valgo. *Revista Española de Podología*, p. 222-225.
- Meshlab*. (2017). Recuperado (14 de Julio del 2016). Obtenido de <http://www.meshlab.net/>
- Morell, R. (7 de Junio de 2012). *Podo Juniors Estudiantes de Podología de la UCV*. Recuperado (08 de Marzo del 2017). Obtenido de <http://podojuniors.blogspot.com/2012/06/mensuraciones.html>
- Pereira, J. (2017). *DigitalHeritage*. Recuperado (10 de Enero del 2017). Obtenido de <http://www.jpereira.net/apuntes-breves/texturas-fotorealisticas-con-meshlab>
- Python*. (02 de Enero de 2017). Recuperado (05 de Noviembre del 2016). Obtenido de <https://www.python.org/>
- Ronda, J. I. (2013). *Grupo de Tratamiento de Imágenes*. Recuperado (22 de Agosto del 2016). Obtenido de <http://oa.upm.es/38663/1/fmbrv.pdf>
- Sastre, D. G. (1998). *Concepto de Dimensión de los ejes XYZ*. Recuperado (17 de Septiembre del 2016). Obtenido de <https://www.infor.uva.es/~descuder/proyectos/animacion/Ejes.htm>
- Sebastián, J. (7 de Noviembre de 2010). *ComuSoft*. Recuperado (12 de Marzo del 2017). Obtenido de <http://www.comusoft.com/todo-sobre-el-kinect-de-xbox-360-caracteristicas-y-precio>
- traumatológica, A. Z. (01 de Enero de 2017). *Patología de los Pies*. Recuperado (09 de Noviembre del 2016). Obtenido de <http://www.traumazamora.org/ortoinfantil/pies/pies.htm>

- Use Xtion PRO developer solution to make motion-sensing applications and games.* (s.f.). Recuperado el 4 de Mayo de 2016, de Use Xtion PRO developer solution to make motion-sensing applications and games
- Using Meshlab.* (2014). Recuperado (07 de Septiembre del 2016). Obtenido de <http://www.instructables.com/id/Using-Meshlab-to-Clean-and-Assemble-Laser-Scan-Dat/step3/Glueing-the-Meshes/>
- Valgus Index.* (s.f.). Recuperado (03 de Mayo de 2016). Obtenido de <http://innofoot.ibv.org/index.php/biomechanical-assessment-procedures/550-valgus-index>
- Xtion ProLive.* (31 de Diciembre de 2016). Recuperado (07 de Enero del 2017). Obtenido de https://www.asus.com/3D-Sensor/Xtion_PRO_LIVE/
- Yamoshi, C. (27 de Febrero de 2017). *Corporación Yamoshi*. Recuperado (10 de Junio del 2016). Obtenido de <https://www.yamoshi.com.pe/inicio/2955-laptop-i7-hp-omen-17-w0011a-16gb-2tb128gb-ssd-gtx965m-4gb-173-w10.html>
- 3D Scanning.* (Enero de 2011). Recuperado (25 de Septiembre del 2016). Obtenido de <http://skanect.occipital.com/>
- 3Ders.* (11 de Noviembre de 2015). Recuperado (28 de Octubre del 2016). Obtenido de <http://www.3ders.org/articles/20150212-occipital-releases-skanect-3d-scanning-software-with-enhanced-coloring.html>

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN.**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores **MAYRA PAULINA MALLITASIG SINCHIGUANO Y JUAN GABRIEL MALLITASIG SINCHIGUANO**

En la ciudad de Latacunga a los 29 días del mes de mayo del 2017

Aprobado por:


Ing. Eddie Galarza Zambrano
DIRECTOR DEL PROYECTO


Ing. Franklin Silva
DIRECTOR DE CARRERA


Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO