



**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 EN ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: “SISTEMA ESCANER DE PIE CON TECNOLOGÍA 3D  
QUE PERMITA ANALIZAR LA HORMA DEL ZAPATO  
ADECUADO PARA LA ADAPTACIÓN ERGONÓMICA DEL  
DEPORTISTA”**

**AUTORES: LUIS ANDRÉS TIPÁN GUAMÁN  
DANILO RAÚL TOAPANTA MORA-**

**DIRECTOR: ING. EDDIE GALARZA Z.**

**LATACUNGA**

**2017**



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

Certifico que el trabajo de titulación, **“SISTEMA ESCANER DE PIE CON TECNOLOGÍA 3D QUE PERMITA ANALIZAR LA HORMA DEL ZAPATO ADECUADO PARA LA ADAPTACIÓN ERGONÓMICA DEL DEPORTISTA”** realizado por los señores **Luis Andrés Tipán Guamán y Danilo Raúl Toapanta Mora**, 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 **Luis Andrés Tipán Guamán y Danilo Raúl Toapanta Mora** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 07 de Junio del 2017

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Eddie Galarza Zambrano.  
DIRECTOR



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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Luis Andrés Tipán Guamán**, con cédula de ciudadanía N° 180406757-5 y **Danilo Raúl Toapanta Mora**, con cédula de ciudadanía N° 050298517-9, declaramos que este trabajo de titulación “**SISTEMA ESCANER DE PIE CON TECNOLOGÍA 3D QUE PERMITA ANALIZAR LA HORMA DEL ZAPATO ADECUADO PARA LA ADAPTACIÓN ERGONÓMICA DEL DEPORTISTA**” 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, Junio de 2017

Luis Andrés Tipán Guamán

**C.C.: 180406757-5**

Danilo Raúl Toapanta Mora

**C.C.: 050298517-9**



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

Nosotros, **Luis Andrés Tipán Guamán** y **Danilo Raúl Toapanta Mora**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“SISTEMA ESCANER DE PIE CON TECNOLOGÍA 3D QUE PERMITA ANALIZAR LA HORMA DEL ZAPATO ADECUADO PARA LA ADAPTACIÓN ERGONÓMICA DEL DEPORTISTA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 07 de Junio del 2017



---

Luis Andrés Tipán Guamán

C.C.: 180406757-5



---

Danilo Raúl Toapanta Mora

C.C.: 050298517-9

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios por la vida y haberme permitido cumplir con mis objetivos a lo largo de este trayecto de mi formación profesional. A mi madre por ser mi fortaleza y demostrarme su cariño y apoyo incondicional. A mi padre por ser mi guía y ejemplo de perseverancia y constancia dándome valor en cada prueba de la vida.

**Andrés**

Dedico este presente proyecto a Dios, a mis padres, mi esposa y todos los que brindaron ese apoyo que me sirvió de fortaleza para cumplir una meta más profesionalmente, y así me han enseñado ser una persona con valores, principios y salir con perseverancia para conseguir mis objetivos a pesar de todas las dificultades que se presentan en la vida.

**Danilo Raúl**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme las fuerzas necesarias para culminar esta meta. A mi madre Carmen y a mi padre Luis por ser la inspiración y ejemplo de fortaleza y perseverancia en cada uno de los pasos, dándome el aliento y las ganas de seguir adelante. A mi hermana May que a pesar de las dificultades siempre hemos permanecido juntos. A mi alma gemela Tefa con quien he luchado día a día para ser mejores. A toda mi familia que de una y otra manera siempre estuvieron pendientes de mi persona. Y como olvidarme de mis ángeles de la guarda José y Chelo que desde el cielo cuidan y me ayudan en cada paso de mi vida.

A cada uno de los maestros profesores e ingenieros que aportaron con el conocimiento en el desarrollo académico, por la paciencia y por la vocación en vuestra enseñanza y a mi compañero de tesis Danilo por el apoyo.

**Andrés**

## AGRADECIMIENTO

*“Sabemos lo que somos,  
pero no lo que podamos llegar a ser”*

*William Shakespeare.*

Doy gracias a DIOS, por darme la sabiduría para continuar mi vida profesional, a mis Hermanos Dalila y Luis quienes me supieron comprender el poco tiempo que pasaba con ellos. A mis padres Martha y Raúl que con su apoyo y enseñanzas me permitieron no decaer en momentos difíciles y cumplir un sueño más en mi vida, dándoles ese orgullo de todo padre siente por sus hijos.

A mi esposa Flor quien me ha enseñado a tener en mente que todo llega con su sacrificio, su apoyo incondicional durante este tiempo ha sido mi pilar fundamental para salir en adelante gracias Amor.

A mi compañero Andrés por su entrega y apoyo al realizar junto este proyecto. A todos mis docentes que de una manera especial me formaron profesionalmente gracias por su valiosa guía en el transcurso de nuestra formación Académico.

**Danilo Raúl**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

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

### CAPÍTULO I

<b>1. PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Formulación de problema .....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Justificación e importancia .....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivo específicos .....	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.5.1. Variables de Investigación.....	3

### CAPÍTULO II

<b>2. DESARROLLO .....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes investigativos.....	5
2.2. Fundamentación teórica. ....	7
2.2.1. Imágenes 3D. ....	7
2.3. Visión Artificial .....	9
2.4. Visión estereoscópica.....	10
2.4.1. Relación entre las coordenadas del mundo físico y de la imagen digital.....	11
2.5. Sistema de coordenadas en 3D.....	11

2.6.	Transformaciones lineales tridimensionales .....	12
2.6.1.	Creación de gráficos en 3D .....	13
2.6.2.	Aplicaciones .....	13
2.6.3.	Software de procesamiento 3D .....	13
2.6.4.	Antecedentes de la investigación. ....	14
2.6.5.	El calzado en el deportista .....	23
2.6.6.	Fases de la marcha .....	23
2.6.7.	Características del calzado para un deportista .....	23
2.6.8.	Partes del calzado deportivo .....	24
2.6.9.	Tipos de calzados .....	25
2.7.	Fundamentación conceptual .....	26
2.7.1.	Escáner de pie .....	26
2.7.2.	Hormas de calzado .....	26
2.7.3.	Adaptaciones ergonómicas .....	29
2.7.4.	La ergonomía en el deporte .....	30
2.7.5.	Nuevas tecnologías tridimensionales.....	31
2.8.	Cámaras estereoscópicas.....	32
2.8.1.	Cámara Kinect.....	32

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>PROPUESTA .....</b>	<b>34</b>
3.1.	Diseño del sistema escáner de pie. ....	34
3.1.1.	Instalación del Skanect .....	35
3.1.2.	Instalación de MeshLab .....	36
3.1.3.	Instalación de Software Python. ....	37
3.2.	Adquisición de datos del escáner de pie. ....	40
3.3	Desarrollo de los algoritmos de programación .....	47
3.3.1	Adquisición de las dimensiones del pie.....	48
3.3.2	Ejecución del escaneo del pie. ....	49
3.3.3	Adquisición de la imagen.....	49
3.3.4	Verificaciones de la imagen generada.....	49
3.3.5	Análisis y determinación de la horma de zapato. ....	50
3.3.6	Adquisición y procesamiento de la Imagen 3D.....	50
3.3.7	Lectura de la nube de puntos de la imagen generada. ....	53
3.3.8	Delimitación de la imagen en el plano xyz .....	54
3.3.9	Medición de las partes del pie.....	55

3.4.	Análisis y determinación de la horma de zapato. ....	55
3.5.	Diseño e implementación del interfaz de usuario .....	58
3.6.	Integración del sistema .....	62

#### **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>64</b>
4.1.1	Pruebas de funcionamiento en la obtención del pie .....	64
4.3	Análisis de resultados. ....	79
4.3.1	Análisis de los valores dados por el sistema y los valores obtenidos manualmente....	79
4.4	Alcances y limitaciones.....	82
4.4.1	Alcances.....	82
4.4.2	Limitaciones.....	82
4.5	Comprobación de la hipótesis.....	83

#### **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
5.1	Conclusiones. ....	88
5.2	Recomendaciones. ....	90
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>92</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>94</b>

Anexo A: Código y librerías utilizadas para el desarrollo del sistema escáner 3d.

Anexo B: Plano estructural de la plataforma giratoria

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medidas de talla de zapato.....	22
Tabla 2. Descripción de las hormas de zapatos obtenidas para cada talla.....	56
Tabla 3. Descripción de los usuarios para la prueba del escáner. ....	67
Tabla 4. Descripción de las medidas del pie izquierdo y derecho dadas por el programa.....	72
Tabla 5. Descripción de las 5 pruebas del pie izquierdo de 3 usuarios. ....	74
Tabla 6. Descripción de las 5 pruebas del pie derecho de 3 usuarios.....	77
Tabla 7. Comparación de los resultados de las medidas obtenidas. ....	80
Tabla 8. Comprobación de las medidas del pie izquierdo obtenidas con el sistema escáner y las medidas manuales del usuario. ....	83
Tabla 9. Comprobación de las medidas del pie derecho obtenidas con el sistema escáner y las medidas manuales del usuario. ....	85
Tabla 10. Descripción del número de pruebas exitosas y fallidas realizadas. ....	86
Tabla 11. Cálculos de error de los valores obtenidos.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escaneo del pie en 3D. ....	6
Figura 2. Medición de una horma del pie.....	6
Figura 3. Campos visuales monoculares.....	7
Figura 4. Paralaje binocular (A, B). ....	9
Figura 5. Plano de coordenadas x,y,z y sus vectores. ....	12
Figura 6. Ejemplo de software de procesamiento 3D.....	14
Figura 7. Estructura del pie humano.....	15
Figura 8. Movimientos del pie humano.....	16
Figura 9. Articulaciones del pie.....	17
Figura 10. Toma de una medida manual de la longitud del pie.....	21
Figura 11. Toma de una medida manual del ancho de los dedos del pie.....	21
Figura 12. Toma de una medida manual de la entrada del pie o empine del pie. ....	22
Figura 13. Partes del calzado deportivo.....	25
Figura 14. Ejemplo de un Escáner de pie 3D.....	26
Figura 15. Horma de un zapato. ....	27
Figura 16. Dimensiones básicas de la horma de zapato.....	29
Figura 17. Ergonomía en el deporte.....	30
Figura 18. Parte de cámara Kinect.....	33
Figura 19. Diagrama de bloques de la aplicación. ....	34
Figura 20. Página oficial de Skanect.....	35
Figura 21. Ventana de la ubicación en donde se instala el programa. ....	37
Figura 22. Página oficial del software Python.....	38
Figura 23. Paquetes necesarios de librerías Python.....	39
Figura 24. Ventana de la instalación de las librerías.....	40
Figura 25. Configuración de las propiedades del skanect. ....	41
Figura 26. Imagen escaneada del pie con las respectivas configuraciones.....	42
Figura 27. Eliminación de las partes no deseadas. ....	42
Figura 28. Pestaña de proceso para la edición y cambio de formato. ....	43
Figura 29. Editor para cambio de formato software Meshlab.....	44
Figura 30. Pantalla principal de Meshlab.....	44
Figura 31. Exportación para el cambio de Formato de la imagen.....	45
Figura 32. Pasos para el cambio de formato de la imagen.....	46
Figura 33. Cambio de formato de la imagen de PLY a XYZ. ....	46
Figura 34. Interfaz de la aplicación en el software Python.....	47
Figura 35. Diagrama de flujo del sistema para obtener las dimensiones del pie. ....	48
Figura 36. Diagrama de flujo para el procesamiento de la imagen. ....	50
Figura 37. Imagen original del pie en nube de puntos.....	51
Figura 38. Proyección en el plano XY de la imagen del pie.....	53
Figura 39. Alineación en el plano XZ de la imagen del pie. ....	53
Figura 40. Proyección en el plano YZ de la imagen del pie. ....	54
Figura 41. Delimitación de la Imagen en el plano Tridimensional.....	55
Figura 42. Diagrama de flujo para la determinación de las medidas de la horma de zapato.....	57
Figura 43. Interfaz Gráfica.....	59
Figura 44. Ventana para llenar los Datos del Usuario. ....	59

Figura 45. Datos adquiridos del usuario pie derecho/izquierdo. ....	60
Figura 46. Botones utilizados dentro de la interfaz gráfica. ....	61
Figura 47. Botones para realizar una medición manual. ....	62
Figura 48. Integración del sistema. ....	63
Figura 49. Posición correcta de los pies del usuario para la obtención de la imagen del pie. ....	65
Figura 50. Prueba de funcionamiento de la plataforma giratoria. ....	65
Figura 51. Prueba del escaneo en tiempo real. ....	66
Figura 52. Gráfica del porcentaje de las pruebas exitosas y fallidas del escaneo. ....	67
Figura 53. Obtención de una imagen errónea en el software Skanect ....	68
Figura 54. Obtención de la imagen en el software Skanect. ....	69
Figura 55. Prueba realizada para el cambio de formato de ply a xyz ....	70
Figura 56. Interface gráfica principal con la información del usuario. ....	71
Figura 57. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 1. ....	75
Figura 58. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 2. ....	76
Figura 59. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 3. ....	76
Figura 60. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 3. ....	78
Figura 61. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 3. ....	78
Figura 62. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 3. ....	79

## RESUMEN

El trabajo de titulación desarrollado presenta un sistema capaz de escanear el pie en forma tridimensional desarrollando un programa capaz de determinar medidas específicas del pie, con el fin de establecer un análisis con respecto a la horma de zapato. Al realizar la comparación entre las medidas tomadas del pie y las medidas de la horma se podrá elegir la horma más idónea para la fabricación del calzado deportivo, de esta manera se evitará tediosos trabajos al momento de adquirir un zapato personalizado que brinde comodidad y que se adapte la condición física del pie, puesto que es necesario para el deportista tener un adecuado calzado para evitar complicaciones en su desarrollo deportivo. El sistema utiliza un escáner con tecnología 3D que permite realizar en un determinado tiempo el escaneo del pie, desarrollando un programa que mide y compara el pie con las medidas de una horma existente, realizando medidas necesarias para este propósito y previo a la elaboración del calzado, adicionalmente en el proyecto se registra las dimensiones obtenidas de cada pie, datos personales y una interfaz gráfica donde se muestra esta información.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **ESCANER 3D**
- **CÁMARA KINECT**
- **DEPORTISTA - ERGONOMÍA**
- **IMÁGENES 3D**

## **ABSTRACT**

The developed research work titling presents a system that is able to scan the foot in three-dimensional way by creating an adept program to determine specific measures of the foot, in order to establish an analysis with respect to the shoe last. When comparing the measures taken from the foot and the measurements of the last, one can choose the most suitable form in a way that the manufacturer of sports shoes will avoid tedious works at the moment of purchasing a customized shoe that provides comfort and adapts the physical condition of the foot, since it is necessary for the athlete to have a suitable footwear to avoid complications in their sports development, comfort and economy at the moment of acquiring a suitable footwear. This system uses a scanner with 3D technology that allows achieving in an adequate time the scanning of the foot by developing a program which measures and compares the measures of the foot with the measures of an existing shoe last, making the necessary measures for this purpose and prior to the elaboration of footwear. In addition, the project records the dimensions obtained from each foot, personal data and a graphical interface where this information is displayed.

### **KEYWORDS:**

- **SCAN 3D**
- **KINECT**
- **ATHLETE- ERGONOMICS**
- **3D IMAGES**

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA

#### 1.1. Planteamiento del problema

La elaboración de calzado en el mercado mundial ha presentado inconvenientes al momento de elegir una horma adecuada y exacta, para los deportistas de toda clase es una gran desventaja no contar con un calzado adecuado al momento de realizar alguna actividad física como el fútbol, básquet, atletismo, ciclismo, entre otros.

Pues la necesidad de la mayoría de personas es obtener una adaptación idónea al calzado y con ello llegar a cumplir todas sus expectativas tanto a nivel habitual como nivel deportivo.

##### 1.1.1. Formulación de problema

Los deportistas necesitan una horma de zapato adecuada para cada deporte que lo practique, es así que por no tener un control con el calzado que el deportista necesita para la actividad que realiza, los practicantes llegan a sufrir lesiones en el miembro inferior que se encuentra en el tobillo, debido principalmente a movimientos más allá del rango fisiológico o exceso de fuerza al no cumplir con la adaptación del calzado con el pie.

Es así que hoy en día, al no existir sistemas que permitan un escaneo de pie con tecnología 3D para el desarrollo de hormas de zapatos para los deportistas, no se puede proporcionar la comodidad al momento de adquirir un calzado, por tal motivo el usuario necesita ciertas características en medidas nominales del pie con un respectivo diseño de hormas de zapatos.

#### 1.2. Antecedentes

El confort del calzado es uno de los aspectos más importantes para los fabricantes y diseñadores de calzado ya que está directamente relacionado con el éxito en la venta del producto con la salud del usuario. A pesar de ello, y por diversas causas, el análisis del confort que es capaz de proveer un diseño de calzado sigue siendo una asignatura pendiente del desarrollo del producto de las empresas, si es que se lleva a cabo. La causa principal es la ausencia de una herramienta capaz de llevar a cabo un test de confort de

manera fiable, rápida y abordable en materia de conocimiento y costes para las empresas. (Melis, 2010)

La intención de reproducir la capacidad que tiene la visión humana para lograr estimar objetos en 3D (profundidad y distancia), en los últimos años ha permitido que la investigación en la reconstrucción 3D tome gran importancia debido a la cantidad de aplicaciones, como por ejemplo: elaboración de mapas tridimensionales; modelado 3D; procesos industriales: control de calidad en relación con tareas de producción y en la robótica para permitir un guiado autónomo de robots móviles sobre un entorno 3D reconstruido. Para contribuir con este fin, en el presente proyecto se desarrolló un algoritmo que permita la reconstrucción 3D de la superficie de un objeto.

### **1.3. Justificación e importancia**

Hoy en día la necesidad de buscar un calzado deportivo adecuado, especialmente para los deportistas, es muy difícil, ya que no cuentan con todas las características y necesidades requeridas por los usuarios, es así que obteniendo un escáner de pie con tecnología 3D que permita analizar la horma requerida de zapato adecuado para la correcta adaptación ergonómica de deportistas, se obtiene la posibilidad de que el usuario pueda diseñar su propio modelo de calzado, sin ninguna falla en la construcción y con la talla adecuada para que pueda ejercer deportivamente o profesionalmente su actividad física.

El calzado es probablemente el equipamiento más relevante en la práctica deportiva y, sin duda, el que más bibliografía científica ha generado. El zapato de un deportista es un producto muy técnico cuyos diseñadores buscan el delicado equilibrio entre sus funciones básicas, por una parte se debe proteger el pie frente a las agresiones del entorno y las altas cargas tanto mecánicas como térmicas que se producen en diversos gestos deportivos, por otra parte, tiene un papel fundamental en el desarrollo de la actividad y en la eficiencia deportiva.

Gracias a la evolución tecnológica, el presente proyecto permitirá facilitar el desarrollo de escaneo de pie con una tecnología tridimensional. Mediante las tecnologías de hardware y software se obtiene un sistema amigable para el usuario que contará con la parte de visualización, así como un banco de almacenamiento donde constan medidas de hormas para poder analizar cada evento realizado al momento del escaneo del pie.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- Implementar un sistema escáner de pie con tecnología 3D que permita analizar la horma del zapato adecuado para la adaptación ergonómica de deportistas.

##### **1.4.2. Objetivo específicos**

- Analizar los tipos de escáner de pie con tecnología 3D.
- Analizar las técnicas de escaneo para la toma de mediciones requeridas para el desarrollo de la horma de zapato.
- Desarrollar algoritmos que permitan un fotocopiado obteniendo medidas de la planta del pie.
- Diseñar e implementar la interfaz gráfico, humano – máquina para la presentación del análisis de la horma de zapato adecuado para la adaptación ergonómica del deportista.
- Realizar pruebas necesarias para verificar su funcionamiento.
- Adquirir datos apropiados para el almacenamiento respectivo.

#### **1.5. Hipótesis**

La implementación del sistema escáner de pie con tecnología 3D permitirá analizar la horma del zapato adecuado para la adaptación ergonómica del deportista.

##### **1.5.1. Variables de Investigación**

Las variables de investigación son de suma importancia dentro del proyecto que realizado en las cuales se tiene dos variables con las siguientes preguntas:

- **Variable independiente.**  
Sistema escáner de pie con tecnología 3D.
  
- **Variable dependiente.**  
Obtener la horma de zapato adecuado para la adaptación ergonómica del deportista.

## CAPÍTULO II

### 2. DESARROLLO

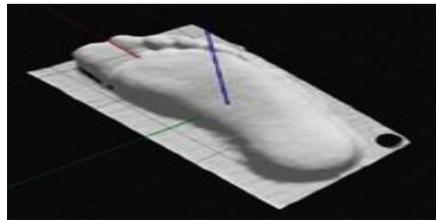
#### 2.1. Antecedentes investigativos.

Si bien es cierto los pies son la base de sostenibilidad de todo el cuerpo, ellos soportan el peso cada vez que estamos en pie o al realizar cualquier acción en la cual se necesitan de ellos. Un escáner 3D es un dispositivo de imagen óptica de precisión diseñado específicamente para capturar la forma tridimensional del aspecto del pie humano con el objetivo de diseñar hormas personalizadas.

Como antecedentes investigativos desarrollados con anterioridad y que fueron de vital ayuda para la realización del scanner 3D con el sensor kinect, se encuentra el INFOOT el cual es un escáner 3D de pies que se basa en tecnología láser desarrollado por la empresa I-Ware Laboratory. INFOOT escanea simultáneamente la forma 3D del pie y puntos anatómicos de referencia marcados sobre éste previamente, proporcionando alrededor de 20 medidas de forma automática. Los datos tridimensionales y medidas se utilizan para el análisis morfométrico del pie con diferentes finalidades: investigación, diseño de la horma o selección del calzado que proporciona mejor ajuste a una persona en concreto. La información entregada por el sensor se procesa mediante algoritmos matemáticos, que luego son manipulados mediante matrices de rotación y traslación para lograr obtener la forma 3D del objeto escaneado. Adicionalmente desarrollan una interfaz (GUIDE) en MATLAB que permite al usuario acceder fácilmente al sistema de reconstrucción 3D y visualizar el proceso en tiempo real. (Paca, 2014)

El Podoscan 3D es otro trabajo realizado y que fue parte de la investigación realizada para este proyecto, es una herramienta dedicada exclusivamente a la toma de medidas de la planta del pie, altura del arco medial, para posteriormente trasladarlo al software de diseño de órtesis plantar, por ejemplo EasyCAD escanea en 5 seg. Con el sistema Silicón nos permite inyectar aire entre el cristal y la silicona de este modo la silicona comprime el pie y lo corrige permitiendo al

técnico manipular el pie para buscar la posición neutra correcta antes de escáner, pudiendo comprobar a tiempo real en todo momento la posición de la planta del pie ya que se ve a través de la pantalla del ordenador (Figura 1). (España, 2016)



**Figura 1. Escaneo del pie en 3D.**

**Fuente:** (Vorum, 2016)

La principal ventaja de estas invenciones consiste en la incorporación de nuevas tecnologías que contribuyen a la obtención de métodos que buscan hacer más eficiente la fabricación de un calzado que se adapte a las condiciones del pie del usuario. Esto se hace evidente en la evolución de dispositivos, máquinas y métodos que utilizan los productos de estas invenciones. Aunque su uso puede ser aplicado a cualquier tipo de calzado, predominan las tendencias para calzado deportivo y calzado para dama.

Esta tendencia se caracteriza por mostrar invenciones relacionadas con la creación de instrumentos y dispositivos que aportan información útil para la comercialización del calzado (figura 2).



**Figura 2. Medición de una horma del pie.**

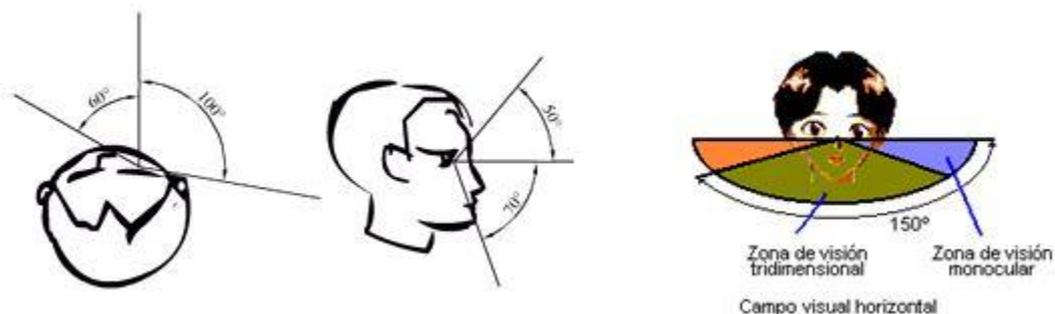
**Fuente:** (Serjio Cuellar, 2014)

## 2.2. Fundamentación teórica.

### 2.2.1. Imágenes 3D.

Los seres humanos, a pesar de disponer de dos ojos, que captan dos perspectivas visuales ligeramente solapadas, tenemos conciencia de experimentar una única imagen que, aproximadamente, situamos en el centro de la distancia interpupilar. Además, tenemos conciencia de experimentar un mundo, una realidad, tridimensional. Sin embargo, las imágenes de los objetos y las escenas que se proyectan sobre nuestras dos retinas son representaciones bidimensionales (planas). Ante todo esto, la pregunta crítica que debemos plantearnos es la relativa a cómo a partir de dos imágenes planas, el sistema visual llega a formar una sola imagen y en relieve.

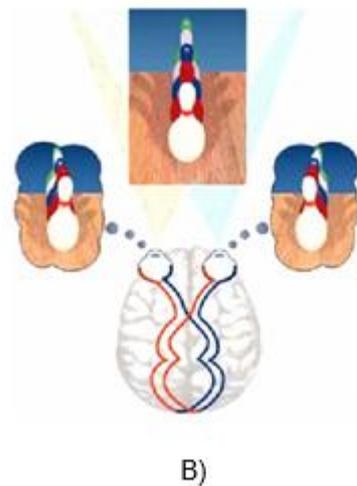
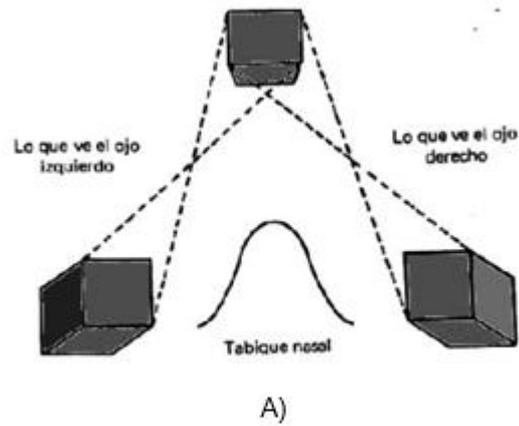
En la especie humana adulta, la distancia interpupilar (punto medio entre los dos ojos) promedio es de unos 65 mm. Teniendo en cuenta la distancia interpupilar media y, además, que cada ojo abarca un ángulo visual en torno a los 150°, podemos representar mediante un dibujo el solapamiento existente entre los ángulos visuales abarcados por los dos ojos de un ser humano. Como puede apreciarse en la figura 3, existe una gran superposición de las imágenes captadas por los dos ojos, lo que da lugar a que el campo visual captado entre los dos sea, aproximadamente, de unos 164°.



**Figura 3. Campos visuales monoculares.**

**Fuente:** (Arroyo, 2016)

La diferente ubicación espacial de los dos ojos, susceptibles de enfocar a un mismo objeto, tiene como consecuencia que las imágenes captadas por cada ojo, en un determinado instante no sean exactamente iguales. En otras palabras, cada ojo capta una perspectiva ligeramente distinta, aspecto que se conoce como paralaje binocular (Figura 4) y que posibilita la percepción de la profundidad o visión tridimensional (3-D) y la estereopsis visual (capacidad que tiene el cerebro humano de generar una visión tridimensional a partir de la percepción en cada ojo de dos imágenes ligeramente diferentes). Así pues, como consecuencia de que la distancia interpupilar es de aproximadamente 6.5 cm en la especie humana adulta, con el ojo izquierdo percibimos algo más del lado izquierdo del objeto y con el ojo derecho algo más del lado derecho del objeto. De esta manera podemos localizar un objeto en el espacio, es decir, podemos informar si el objeto está al frente, a nuestra izquierda o a nuestra derecha. (López E. , 2015)



**Figura 4. Paralaje binocular (A, B).**

**Fuente:** (Casanova, 2016)

### 2.3. Visión Artificial

La visión artificial permite la utilización de diferentes técnicas para la observación, procesamiento y análisis de diferente tipo de información mediante imágenes digitales, con procesos destinados a realizar un análisis de la imagen como son la captación de imágenes, memorización de la información, procesado e interpretación de los resultados. Mediante la visión se pueden realizar diferentes actividades entre ellas se tiene:

- Inspecciones de objetos sin contacto físico con el material.
- Automatizar tareas de control de calidad.
- Reconocimiento de personas.
- Análisis de partes del cuerpo humano relacionadas a la salud.
- Identificación de objetos.
- Determinación de la posición de un objeto o de una persona.
- Mediciones angulares.
- Mediciones tridimensionales.

En el proyecto desarrollado influye mucho la utilización de la visión por computador para realizar la captura de la imagen del pie del deportista y la creación de una horma de zapato adecuada por lo cual se ha utilizado un escáner 3D mediante la utilización de una cámara Kinect, la cual reconoce el pie del deportista para la realización del análisis de la horma de zapato del mismo.

#### **2.4. Visión estereoscópica**

La visión estereoscópica constituye un procedimiento para la obtención de la forma de objetos en la escena en observación. Se determina a través de la distancia de los objetos que el sistema observa en relación con un sistema de referencia por lo que se trata de un método para la obtención de una imagen en tercera dimensión. Para lo cual existen dos tipos de métodos los cuales son:

- Métodos activos: intervienen exactamente sobre la escena, bien iluminada o bien enviando un haz energético como por ejemplo sensores de ultrasonidos, luz estructuras, triangulación etc.
- Métodos pasivos: no actúan en la escena, siendo la visión estereoscópica, la cual recoge la información visual tridimensional y crea una ilusión de profundidad de una imagen.

En el computador la visión estereoscópica toma como referencia el modelo estereoscópico biológico donde el desplazamiento relativo de los ojos permite obtener la profundidad de los objetos mediante un proceso de triangulación a partir de las dos imágenes generadas por el mismo objeto de la escena 3D en

cada ojo, lo cual se debe a que los objetos están distanciados, esto hace que las imágenes de los objetos en ambos ojos se muestren desplazadas según la distancia de los objetos a los ojos.

#### **2.4.1. Relación entre las coordenadas del mundo físico y de la imagen digital.**

Este proceso de formación de una imagen bidimensional es un proceso proyectivo del mundo real tridimensional al espacio bidimensional de la imagen, en el cual desaparece una dimensión de la profundidad. Para recuperar la tercera dimensión tras este proceso, hay que conocer la relación entre las coordenadas de una imagen digital y las de una escena 3D proyectada con ella.

### **2.5. Sistema de coordenadas en 3D**

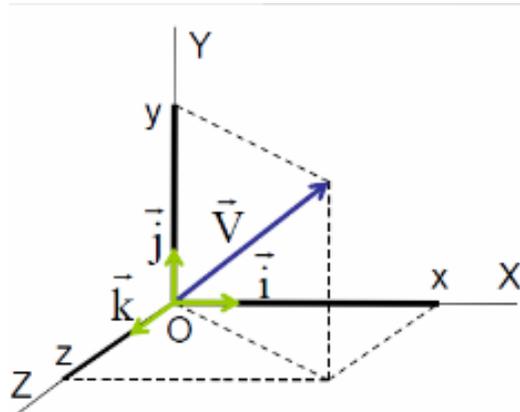
Un sistema de coordenadas es un conjunto de valores y puntos que permiten definir la posición de cualquier punto de un espacio. Los sistemas de referencia preferidos en la definición de los modelos vectoriales son los cartesianos. Con el uso de estos sistemas en un origen de coordenadas, se puede identificar cualquier punto en el espacio de un vector.

El término 3D por computadora se refiere a imágenes o trabajos que son creados con la ayuda de un computador y de programas especiales. La perspectiva es la representación de estos objetos en tres dimensiones sobre una estructura plana.

En una escena 3D, los puntos, líneas y planos que la componen necesitan un sistema para referenciar sus coordenadas al igual que una imagen que se proyecta en 2D. En una imagen 3D aparece el eje z a más de tener los ejes x, y; obteniendo coordenadas (x, y, z). Se elige un sistema de referencia cartesiano para descomponerlo en tres vectores; siendo V la suma de cada vector dependiendo de su eje (ec1).

$$\vec{V} = \vec{V}_x + \vec{V}_y + \vec{V}_z \quad ec. (1)$$

Los escalares x,y,z son las coordenadas o componentes del vector en el sistema de referencia elegido, se suele identificar como(figura 5):

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 


**Figura 5. Plano de coordenadas x,y,z y sus vectores.**

**Fuente:** (Izquierdo, 2014).

## 2.6. Transformaciones lineales tridimensionales.

La variación que existen entre la posición o el tamaño de un objeto con respecto a los sistemas de referencia se realiza mediante la transformación lineal.

- **Traslaciones:** La traslación de un objeto consiste en moverlo cierta distancia, en una dirección determinada.
- **Cambios de escala 3D:** Dentro de un espacio de referencia los objetos pueden cambiar su tamaño o modificarlo de uno, dos o los tres ejes.
- **Cambio de escala respecto a un punto fijo:** Este tema consiste en escalar un objeto, sin que este se vea afectado por un cambio de posición, respecto a un punto establecido.
- **Giros en 3D:** Para realizar giros de objetos, el usuario debe establecer un eje de rotación, así como un ángulo y el sentido del giro alrededor del eje. Los giros pueden ser relativos o absolutos; siendo un giro relativo aquel que parte de su posición actual y se gira un ángulo sobre el eje dado. En cambio si el objeto ha girado un ángulo a partir del estado cero es un giro absoluto.

### **2.6.1. Creación de gráficos en 3D**

El proceso de la creación de gráficos tridimensionales comienza con un grupo de fórmulas matemáticas y se convierte en un gráfico en 3D. Se debe tener presente que las tres dimensiones son el largo, el ancho y el interior que posee la imagen. Las fórmulas matemáticas describen objetos poligonales, tonalidades, texturas, refracciones, iluminación, entre otras, lo cual constituye un modelo de una imagen en 3D. El proceso de transformación de un modelo en 3D a una imagen 3D es denominado renderización en la cual se procesa todo el polígono, sombras, iluminación, etc para tener una imagen realista.

### **2.6.2. Aplicaciones**

Existen diversas aplicaciones para la creación y el diseño de gráficos 3D entre ellos se encuentran Softimage XSI, 3D Studio Max, Blender, por mencionar a algunos a su vez podemos observar hoy por hoy películas en 3D o series de televisión en 3D lo cual va avanzando aceleradamente con el paso del tiempo.

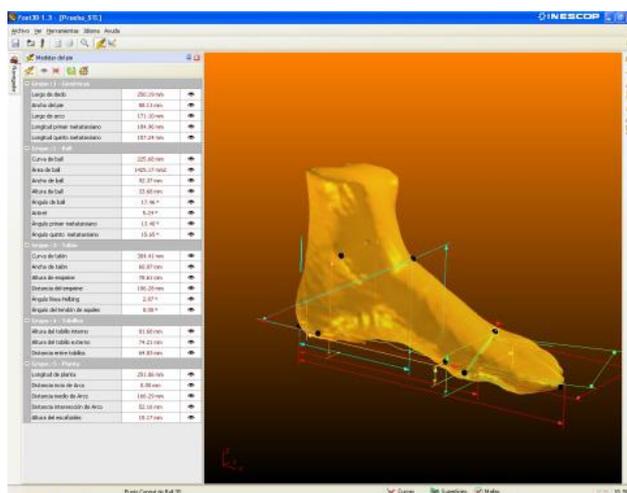
### **2.6.3. Software de procesamiento 3D**

Los sistemas de procesamiento de imágenes, llamados también sistemas de visión o Machine Vision, han logrado grandes éxitos en los últimos años en diferentes campos de aplicación industriales y formado una amplia gama de sistemas. Los sistemas todavía dominantes son los bidimensionales y los sensores de visión, de técnicas más sencillas. Pero el avance de las aplicaciones 3D es imparable (Revistatope, 2017).

Ver en tres dimensiones es imprescindible para realizar muchas tareas, no solo para las personas sino también para el mundo industrial y las máquinas. Con información tridimensional será posible llevar a cabo tareas de ingeniería mecánica o producción industrial para las que no bastan las tecnologías bidimensionales clásicas. Ya que para poder reconocer objetos con tecnologías bidimensionales es necesario conocer su orientación.

En el mercado existen algunas empresas las cuales facilitan el desarrollo de programas de procesamiento de imágenes 3D, mencionamos a continuación alguna de ellas.

Planmeca Romexis es una suite de software avanzada y fácil de usar dotada de un abundante conjunto de herramientas que permite cumplir los requisitos de procesamiento de imágenes a los que se enfrenta cualquier instalación, desde una clínica pequeña hasta un hospital grande. Admite la gama más flexible de modalidades de procesamiento de imágenes 2D y 3D. ADCIS desarrolla y comercializa productos de tratamiento de imágenes altamente innovadores y eficientes, tales como el software Aphelion como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6. Ejemplo de software de procesamiento 3D**

**Fuente:** (Red21, 2016)

#### **2.6.4. Antecedentes de la investigación.**

##### **a. Pie humano**

Según la historia, una de las primeras cosas que hicieron los primeros habitantes en la tierra fue el cubrirse los pies; el uso de los zapatos tiene gran importancia en la salud y en el bienestar del ser humano. Esto se debe a que los pies son las únicas partes del cuerpo humano que están en contacto directamente con el suelo ya que los pies están en constante movimiento, sirven para desplazar a una persona de un lugar a otro, trabajar, jugar, etc.

Al inicio, los zapatos eran confeccionados a mano pero a mediados del siglo XIX se inventa la máquina de coser convirtiendo a la industria netamente

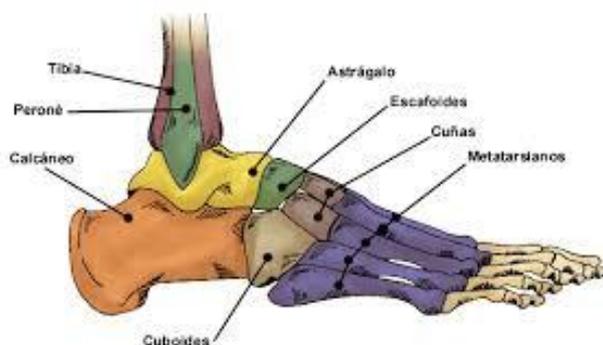
mecanizada, los continuos avances que fueron realizados por la industria han servido para alcanzar hoy por hoy zapatos de excelente calidad que se pueden adaptar a diferentes situaciones del ser humano como correr, trabajar, bailar, etc. (Hunt, 2013)

### b. Anatomía del Pie

En posición bípeda, es la única parte del cuerpo en contacto con el suelo y actúa como base del servomecanismo debido a que la planta del pie ayuda a la postura del cuerpo.

Una cuarta parte de los huesos del cuerpo se encuentran en los pies. Su estructura ósea es peculiar por que se asemeja a un puzle que puede ser dividido en diferentes secciones y de hecho existen varias formas de clasificar sus huesos. Tradicionalmente tarso, metatarso y dedos serían las tres regiones; pero la didáctica actual prefiere emplear la idea de antepie o pie delantero, mediopie o pie medio y retropie o pie trasero:

- Pie delantero, formado por las 14 falanges (dedos) y 5 huesos del metatarso. Los metatarsos forman un puente entre el pie medio y las falanges que se extienden cuando el pie soporta el peso.
- Pie medio, constituido por 5 tarsos: escafoides, cuboides y las tres cuñas (cuneiformes).
- Pie trasero, por los 2 restantes tarsos, calcáneo y astrágalo. Esta parte está conectada con dos huesos largos de la pierna (tibia y peroné), formando la articulación que permite al pie moverse hacia arriba y hacia abajo.



**Figura 7. Estructura del pie humano**

**Fuente:** (Mazuelas, 2013)

Para mover, soportar y mantener la posición de los huesos, existe una red de músculos, tendones y ligamentos. Los músculos tienen varias funciones importantes: mueven los pies, levantan los dedos, estabilizan los dedos en el suelo, controlan los movimientos del tobillo y soportan el arco. En la Figura 7 se pueden ver los principales músculos que intervienen en el movimiento de los pies.

La flexión/extensión del pie la realiza la articulación tibiotalar. Las caras de esta articulación se hallan constituidas: la superior por la tibia y el peroné y la inferior por el astrágalo. Este tipo de articulación no permite movimientos de lateralidad.

El movimiento de flexión dorsal del pie es efectuado por los siguientes músculos: tibial anterior, extensor largo del dedo grueso, extensor largo de los dedos y el peroneo anterior. El movimiento de flexión plantar es un poco más complejo e intervienen la serie de músculos que podemos ver en la figura 8.

Los movimientos de lateralidad del pie (pronación/supinación) se realizan a cargo de la articulación del tarso. Los músculos encargados de la pronación son los peroneos. Mientras que los encargados de la supinación, son los tibiales anterior y posterior, el extensor largo del dedo grueso y el tríceps sural.



**Figura 8. Movimientos del pie humano**

**Fuente:** (Anatomía Fácil, 2016).

Los tendones conectan los músculos con los huesos y las articulaciones. El más grande es el tendón de Aquiles, que se extiende desde el músculo de la pantorrilla hasta el talón; y permite correr, saltar, subir escaleras y ponerse de puntillas. Los ligamentos mantienen los tendones en su lugar y estabilizan las

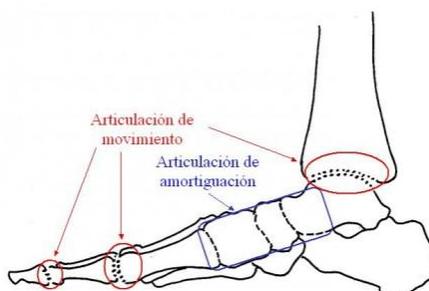
articulaciones. Se trata de tejido conjuntivo que rodea o engloba a todo lo demás, permitiendo mantener su estructura y conectando entre sí a todas las partes del organismo. Es el caso de la fascia plantar que rodea a todos los elementos que conforman el pie. Así, todos los huesos, músculos, tendones y ligamentos del pie están estructurados para trabajar juntos en la distribución de las fuerzas originada en el desplazamiento de modo que no suframos lesiones ni dolor.

Cuando caminamos, los pies son nuestro único punto de contacto con el suelo, por lo que es la primera parte de nuestro cuerpo que siente las fuerzas generadas al caminar. Se utilizan para la locomoción y desempeñan las distintas funciones:

- Actúan como amortiguadores
- Nos ayudan a mantener el equilibrio sobre superficies desiguales
- Nos proveen de la propulsión, elasticidad y flexibilidad necesarias para caminar, saltar y correr

Cuando caminamos o corremos, el pie pasa por dos fases: la fase de contacto (cuando está en el suelo) y la fase de balanceo (cuando está en el aire). Si el pie aterriza en el suelo de forma incorrecta, la fase de contacto se convierte en una etapa crítica y entonces soporta tensiones que pueden causar dolor y lesiones.

Desde un punto funcional, se distinguen en el pie dos tipos de articulaciones: la de movimiento, constituida por el tobillo y las articulaciones de los dedos (en rojo en la figura 9) y la de amortiguación, formada, sobre todo, por las articulaciones del pie medio.



**Figura 9. Articulaciones del pie.**

**Fuente:** (Correr Descalzos, 2016)

- **Huesos**

El pie, por la estructura que posee, cuenta de 28 huesos los cuales se mantienen unidos mediante músculos, ligamentos y tendones.
- **Músculos**

El pie consta de 32 músculos y tendones. Los músculos de la pierna dan fuerza al pie, en cambio los músculos del pie ayudan a la estabilidad y la dirección y ambos músculos tienen la función de mantener el cuerpo en equilibrio y controlar el movimiento de los mismos.
- **Tendones**

Denominados “cuerdas” fuertes no elásticas las cuales son fijadas a los huesos mediante los músculos ocupándose del equilibrio dinámico y la forma que tenga el pie.
- **Arco del pie**

Estructura flexible arqueada formada por una serie de huesos y es unida mediante los tendones; al realizar presión sobre el arco del pie, los tendones hacen que este se doble y reparten así las fuerzas que provoca el cuerpo al caminar y poder evitar los golpes.
- **Ligamentos**

El pie posee 109 ligamentos que funcionan como bisagras para mantener unidos huesos y articulaciones. Los ligamentos se componen de “fibras”, son menos elásticos que los músculos, pero fuertes. Estos ligamentos mantienen unidos los huesos, en especial los huesos del tarso haciendo flexionarlos cuando exista una presión, además son los responsables de la forma estática del pie.
- **Distribución del peso**

El peso es distribuido en seis puntos de apoyo que están formados por los huesos, siendo la mitad del peso soportada por los cuboides. Las desviaciones en la estructura del pie que perturban la distribución usual del peso provocan dolencias e irritación.
- **Dedos**

Los dedos, responsables en el agarre del suelo, dan el último empujón cuando el pie da un paso trasladando el peso al otro pie. Hay que tener

presente que el dedo gordo también carga una parte del peso del cuerpo en cada paso, cuando la persona está de pie en el dedo gordo no descansa ningún peso. El agarre que tienen los dedos es importante para el equilibrio y ayudan a moverse hacia delante.

### **c. Crecimiento del pie humano.**

El pie de un niño recién nacido tiene un solo hueso, en cambio el resto del pie posee únicamente cartílagos: cuando un niño tiene la edad de tres años la mayoría de los cartílagos se han convertido en huesos y a la edad de seis años los huesos tiene ya su forma definitiva, pero constando de una parte de cartílagos.

Según estudios, el pie de un ser humano crece durante los primeros años aproximadamente 1,25 centímetros en el año. En el lapso de los 10 a los 20 años el pie crece considerablemente menos por año y al llegar a los 20 años el pie ya no crece. Este crecimiento no evita que en un futuro por una mala postura o el uso de calzado incorrecto, puedan dañar las articulaciones y estructura del pie y de sus huesos.

Existen diferentes clases de pie dependiendo de su arco; a continuación se presenta las siguientes clases, a su vez se indica el tipo de calzado que deben utilizar:

- Normal/neutro

Los pies normales o neutros poseen un arco del pie alto. Los pies normales rotan desde la parte central del antepié. Todas las clases de calzado son idóneas con excepción del calzado que se ha desarrollado en especial para determinadas clases de pie o deficiencias del pie.

- Pie cavo

Los pies cavos se encuentran formado por un arco del pie muy alto. Un pie cavo se caracteriza por un movimiento limitado y una mala amortiguación y una rotación sobre la cara exterior del antepié. Las personas con pies cavos deben utilizar un calzado con una amortiguación

máxima, pero no se les puede limitar en sus movimientos porque sus pies se tienen que mover de la forma más libre posible.

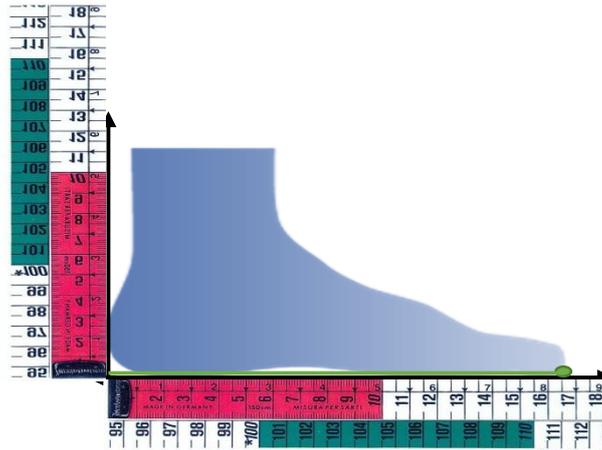
- **Pies plano**

Los pies planos son pies con un arco del pie bajo. En caso de pies planos se habla en general de "sobrepronación" (pronación acentuada): rotación sobre la parte interior del antepié. Las personas con pies planos necesitan un control excelente sobre el retropié. Una suela fuerte en la zona central del pie contrarresta la basculación "natural" del pie.

#### **d. Medidas del pie**

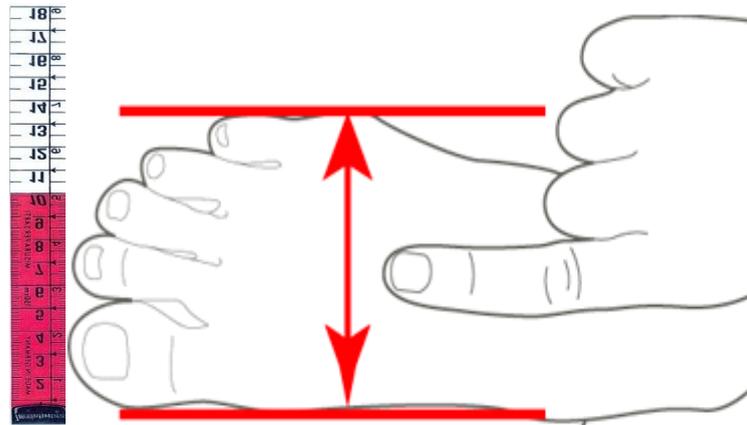
Existe una infinidad de formas y medidas imaginables de un pie. La longitud y la anchura determinan la forma de un zapato en el pie: las medidas del pie y el zapato tienen que coincidir para un resultado óptimo. Para realizar la medición de las principales partes del pie se tiene un proceso para ello se detalla una de las formas de como adquirir las medidas de un pie.

El cálculo de la longitud del pie se realiza con ayuda de la cinta métrica ya que se obtiene una dimensión apropiada en centímetros (cm), por lo cual se traza un línea a partir del talón, pasando por la parte interior y hasta el final del dedo más largo, durante este proceso se presiona los dedos para que alcance toda su longitud, puesto que el pie derecho y el pie izquierdo nunca son idénticos, en la Figura 10 podemos observar la posición de la cinta métrica para realizar la medida.



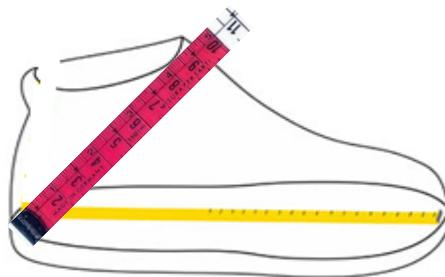
**Figura 10. Toma de una medida manual de la longitud del pie**

Para el cálculo de la dimensión del ancho de los dedos utiliza una cinta métrica y se coloca dos bases paralelas al ancho del pie trazando una línea perpendicular entre las dos como se muestra en la Figura 11, esta última línea será la medida del ancho de los dedos.



**Figura 11. Toma de una medida manual del ancho de los dedos del pie**

El cálculo de la dimensión de la entrada del pie o empeine se lo realiza colocando la cinta métrica sobre el hueso del tobillo y hasta llegar al filo del talón como se observa en la Figura 12, donde obtendremos la medida en centímetros.



**Figura 12. Toma de una medida manual de la entrada del pie o empine del pie.**

Por esta razón las diferentes empresas de calzado poseen una gran variedad de zapatos con números de largo y ancho.

Para saber cuáles son las medidas en el diseño de un tipo de calzado específico para una actividad física o laboral, se utilizan las medidas antropométricas del pie humano para obtener unas dimensiones “estándar”, se basa en una tabla de las medidas en la cual se toma en consideración las medidas de talla europea o americana, dependiendo de la empresa que fabrique el calzado; como se ve en la Tabla 1, se puede observar la longitud del pie en cm y un aproximado de la talla en medias europeas y americanas.

**Tabla 1. Medidas de talla de zapato**

Longitud en cm	Talla Europea	Talla Americana
21.5	34	4.5
22.0	35	5
22.5	36	6
23.2	37	6.5
23.8	38	7.5
24.4	39	8
25.0	40	9
25.6	41	10
26.2	42	10.5
26.8	43	11
27.5	44	11.5
28.2	45	12.5
28.8	46	13.5
29.5	47	14
30.2	48	15
30.8	49	16

**Fuente:** (Argón, 2016)

### **2.6.5. El calzado en el deportista.**

La base en la cual se sustenta todo el ciclo dinámico de la marcha son los pies, por ello es importante el cuidado y el uso adecuado del calzado en un deportista. Si el calzado deportivo no ajusta correctamente y no está correctamente diseñado para el deporte, aumentará la posibilidad de mayores lesiones, a su vez puede disminuir el rendimiento de un atleta.

### **2.6.6. Fases de la marcha**

La marcha es el medio de locomoción por el cual el ser humano puede trasladarse de un lugar a otro, por lo cual existe un ciclo o fases de la marcha que se presentan a continuación:

- Contacto inicial: el talón será el cual reciba todo el peso del organismo.
- Progresión del Cuerpo: base de sustentación con el apoyo de todo el pie.
- Impulsión hacia delante: en esta fase se desarrolla un despegamiento progresivo de todo el pie terminando por los dedos.

El calzado debe adaptarse durante cada una de las fases de la marcha mejorando la estabilidad del deportista, evitar caídas o resbalones, un adecuado amortiguamiento del impacto del talón con el suelo; a su vez debe ser capaz de adaptarse lo mejor posible a todo el contorno del pie consiguiendo de este modo un mejor apoyo y mejor estabilidad para el deportista.

### **2.6.7. Características del calzado para un deportista**

Para elegir un zapato, el deportista debe fijarse en el confort que le produce dicho zapato al caminar, correr o realizar la actividad física que desee, para lo cual el deportista debe tener presentes las siguientes características:

- Peso
- Flexibilidad
- Estabilidad
- Generación y amortiguación de impactos
- Adherencia al piso

- Forros térmicos
- Forros absorbentes
- Ajuste a nivel de tobillo
- Material de construcción
- Acabado del calzado

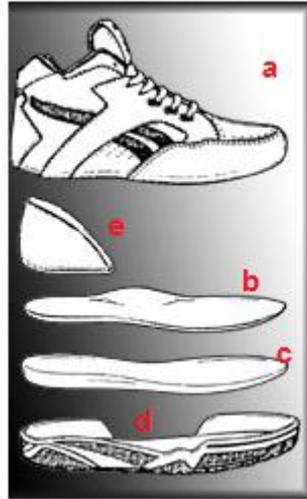
Cada una de estas características depende del deporte que se encuentre practicando la persona, el suelo que tenga que pisar y los ambientes en los cuales va a estar el zapato expuesto.

### **2.6.8. Partes del calzado deportivo**

Las partes principales de un calzado deportivo son la capellada, la plantilla, entresuela, suela y el contrafuerte los cuales se describen a continuación:

- a. Capellada:** es la parte que cubre al pie, influye en la comodidad del calzado, el soporte, protección del pie, etc.
- b. Plantilla:** parte inferior de la zapatilla donde el pie descansa, brinda comodidad, soporte del arco.
- c. Entresuela:** ubicada bajo la plantilla, amortigua el pie y sirve para el control de los movimientos del pie.
- d. Suela:** parte inferior del calzado, asegura tracción y durabilidad.
- e. Contrafuerte:** localizado en el área del talón, permite mantener al pie centrado y estable.

En la Figura 13 se presentan las partes descritas del calzado deportivo



**Figura 13. Partes del calzado deportivo.**

**Fuente:** (Idoneos, 2016)

### **2.6.9. Tipos de calzados**

Hoy por hoy existen diferentes tipos de calzados que ayudan al desarrollo de diferentes actividades físicas y con esto ha surgido una gran industria del calzado que ha contribuido al avance y desarrollo de mejores elementos y accesorios para el calzado deportivo (F. Fernández Serrano, 2002).

Los fabricantes de calzado deportivo han dividido los tipos de zapatillas en siete grupos los cuales son:

- Zapatillas de carreras, entrenamiento y de paseo.
- Zapatillas de deportes en pista.
- Zapatillas para deportes en campo.
- Zapatillas para deportes en invierno.
- Zapatillas para deportes al aire libre.
- Zapatillas de atletismo.
- Zapatillas para deportes especializados.

## 2.7. Fundamentación conceptual

### 2.7.1. Escáner de pie

Si bien es cierto los pies son la base de sostenibilidad de todo el cuerpo, ellos soportan el peso cada vez que estamos en pie o al realizar cualquier acción en el cual se necesite de ellos. Un escáner 3D es un dispositivo de imagen óptica de precisión diseñado específicamente para capturar la forma tridimensional del aspecto del pie humano con el objetivo de diseñar hormas personalizadas como se muestra en la Figura 14.

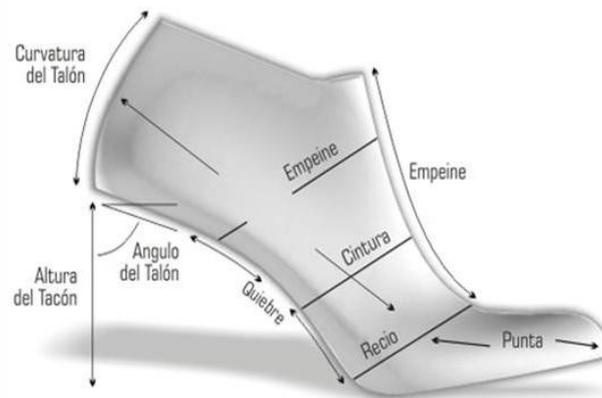


**Figura 14. Ejemplo de un Escáner de pie 3D**

**Fuente:** (Pinochet, 2016)

### 2.7.2. Hormas de calzado

La horma de un calzado es una copia abstracta del pie humano, cumple con la función de sustituir el pie durante la confección del zapato para actuar como superficie de trabajo en la que los fragmentos del pie lisos puedan adquirir forma práctica. Actualmente la fabricación del calzado se encuentra automatizado en todas sus fases siendo una de las más importantes el modelado de la horma como se indica en la Figura 15. El modelado de las hormas les corresponde a los maestros hormeros que basan su trabajo a la experiencia y al método de prueba-error para conseguir la horma que mejor funcione para cada tipo de calzado.



**Figura 15. Horma de un zapato.**

**Fuente:** (The Luxonomist, 2014)

Según Hidalgo L. (1999), se refiere a que si se efectúa una selección y mezcla adecuadas de los materiales, se obtienen hormas resistentes a la humedad y a las fluctuaciones de temperatura, cuyas medidas no se alterarán.

La fabricación de materias plásticas para hormas exige conocimiento y experiencia. Para confeccionar los modelos de las hormas, los modelistas prefieren al plástico la madera Haya o de Carpe bien secada con un contenido de humedad de menos del 10%. Las medidas más importantes que pueden ser normalizadas para desarrollar las hormas se refieren a:

- El talón,
- Los contornos del enfranque,
- Los arcos de la horma,
- La curva del talón,
- La sección del talón.

El sistema moderno de fabricación de calzado exige normalizar y coordinar las hormas. Se debería controlar siempre la exactitud de medida de las hormas acabadas, los medios auxiliares que se necesitan para ello son:

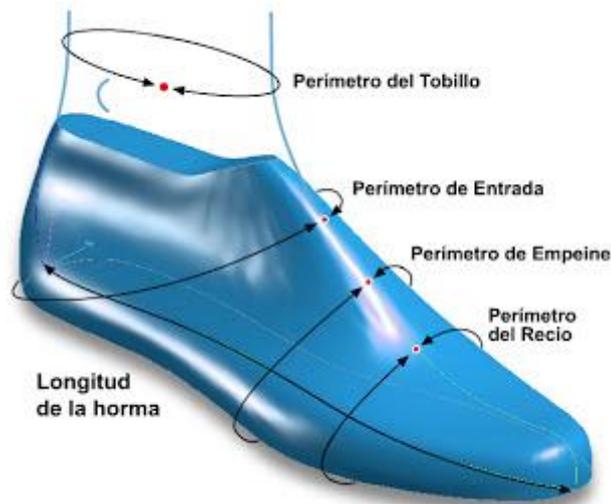
- Escuadra
- Control de la anchura del empeine
- Control de la anchura por medio de los puntos de medición de la anchura.

- Control de la anchura por medio de puntos de medición con el compás
- Control de los puntos de medición con la cinta de medición
- Control del perfil con una plantilla perfilada
- Control de los perfiles mediante moldes
- Control del contorno del talón mediante moldes
- Control de la bóveda de la suela
- Control del tubo cilíndrico

Hay que tener en cuenta que la horma no es una reproducción exacta de la forma del pie, sino un aproximado basado en la forma y sus medidas antropométricas y es modificada frecuentemente para ajustarse a la demanda de la marca, moda, y la comodidad de la persona.

Al no existir una estandarización de criterios para cada hormero, dicha persona verifica las dimensiones que son consideradas importantes por lo general cada compañía guarda sus normas de diseño de hormas con su grado de reserva. Hay que tener en cuenta las medidas del pie de la población a la que va dirigida el calzado, existe cuatro dimensiones básicas que la mayoría de los hormeros observan a la hora de evaluar la horma como se muestra en la Figura 16, las cuales se corrigen dependiendo del tipo de calzado que se quiera fabricar:

- Longitud total de la horma.
- Perímetro de las articulaciones metatarso-falanges.
- Perímetro de retención.
- Perímetro interior.



**Figura 16. Dimensiones básicas de la horma de zapato.**

**Fuente:** (Delcam, 2001)

### **2.7.3. Adaptaciones ergonómicas**

La Ergonomía se puede definir como la aplicación de principios científicos en la elaboración y diseño de objetos y entornos para la actividad humana. Esto se refleja en el origen etimológico de la palabra, "ergo" y "nomos", o "actividad" y "normas", o sea se refiere a aquellas normas o principios naturales que rigen las actividades del hombre. Es una gama de conocimientos en la que participan personas de múltiples disciplinas a fin de realizar estudios entorno a la conducta y a las actividades de las personas en sus lugares de trabajo. Estos estudios se realizan en función de poder adaptar los productos, puestos de trabajo, máquinas y sistemas a las verdaderas necesidades de las personas. De este modo, es posible mejorar las condiciones y eficacia de las personas, mejorando la seguridad y salud en el ambiente laboral.

La ergonomía surge de necesidades y dolencias en el aumento de la mecanización. En otras palabras, las máquinas cada día realizan más tareas, debiendo agilizar las funciones de sus operadores, exigiendo un esfuerzo físico muchísimo mayor, que con el paso del tiempo, produce un desgaste profesional

perjudicial para la salud del trabajador, como también para la producción de la empresa.

La ergonomía es el estudio del entorno de trabajo a fin de mejorar sus condiciones, adaptando sus puestos y maquinarias, favoreciendo la buena postura y las conductas saludables y seguras. De no ser así, el desgaste, además de provocar peligrosos accidentes laborales, produce entre otras consecuencias, fuertes dolores de espalda, así como también de cuello. Además se produce la inflamación de muñecas, piernas y brazos.

#### **2.7.4. La ergonomía en el deporte**

La ergonomía, al ser uno de los campos más estudiados en el mundo deportivos, se define como la ciencia que trata el diseño de diversos materiales que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas y psicológicas, buscando la mutua adaptación del hombre, la máquina y el medio donde es desarrollada. La ergonomía es el conjunto de estudios encaminados a mejorar el rendimiento y la salud del deportista a través de diversos métodos (ver Figura 17).



**Figura 17. Ergonomía en el deporte**

**Fuente:** (López J. , 2014)

### a. Tipos de ergonomías.

Dentro de las principales se destacan las siguientes:

- **Ayudas materiales:** diseño del calzado deportivo adaptado para cada deportista.
- **Ayudas fisiológicas:** hidroterapia, entrenamiento en la altura para aumentar la síntesis de glóbulos rojos.
- **Ayudas psicológicas:** motivaciones, terapias.
- **Ayudas farmacológicas:** cafeína, los suplementos, etc

### 2.7.5. Nuevas tecnologías tridimensionales

Cambios que traen las nuevas tecnologías: la impresora 3D hogareña promete generar la "nueva revolución industrial". La impresión en tres dimensiones (3D) "puede hacer un cambio tan importante en el mundo como lo fue la introducción de las fábricas. Así como nadie pudo predecir el impacto del motor de vapor en 1750 o de la prensa en 1450 o el transistor en 1950, es imposible predecir el impacto a largo plazo de la impresión en 3D. Pero la tecnología está, y cambiará cada campo de acción en el que se utilice".

La afirmación fue publicada hace casi dos años por la famosa publicación británica "The Economist", y de acuerdo con lo observado en la última edición del CES (Consumer Technologic Association), la mayor feria mundial de tecnología de consumo masivo, el vaticinio tiene cada vez más oportunidades de convertirse en realidad. Incluso, este año, una empresa argentina lanzará al mercado local el primer modelo de una impresora de objetos tridimensionales, ensamblada en el país. En el CES, realizada en Las Vegas, EE.UU., el principal exponente de esta tecnología que existe desde hace unos 20 años pero que ahora concita el interés de los medios es MakerBot, cuyo slogan es "liderando la próxima revolución industrial". Fundada en 2009 por el ex profesor neoyorquino Bre Pettis, esta compañía se dedica a fabricar impresoras para reproducir objetos en 3D. Por ejemplo, en la feria había más de 10 equipos del modelo Replicator que imprimían en menos de una hora figuras de 10 centímetros de famosas esculturas como la Venus de Milo.

El modelo anterior a la Replicator 2X, anunciada en el CES, costaba 2.200 dólares, mientras que la nueva asciende a 2.700 dólares, debido a una doble entrada de material.

FDM (Fused Deposition Modelling) es la tecnología que utilizan en Kikai Labs fabricante de impresoras 3D porque es más accesible y económica, ofreciendo una óptima resolución que, aunque no da un acabado final de alta calidad, sí puede ser pintado, pulido, suavizado, etc. Esta tecnología utiliza plásticos como ABS, PLA, nylon, policarbonato, polietileno alta densidad, madera (plástico con agregados de madera y otros materiales), entre otros, y permite mezclar colores. Incluso, es posible crear algunas piezas funcionales, suficientemente rígidas.

## **2.8. Cámaras estereoscópicas**

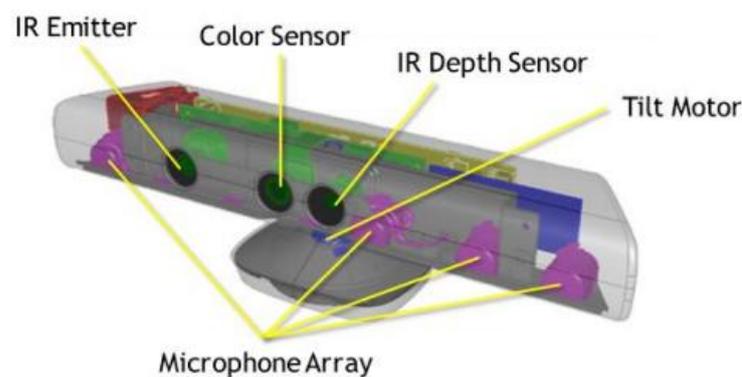
Una cámara estereoscópica es un dispositivo aplicado para la toma de imágenes 3D, realizando una emulación fotográfica dando una sensación de profundidad en una imagen tal cual lo realiza el ojo de un ser humano; es decir teniendo un alto, ancho y profundo. En este proyecto se utiliza el Kinect el cual servirá para adquirir la imagen del pie del deportista y para su respectivo análisis.

### **2.8.1. Cámara Kinect**

Kinect es una cámara de profundidad, compuesta de un emisor infrarrojo y una cámara. Una cámara normal produce imágenes en las que cada pixel registra el color de luz que rebota en el objeto; mientras que Kinect registra la distancia de los objetos que se encuentran en la escena creando una imagen de profundidad. Por lo cual Kinect utiliza luz infrarroja que no capta el aspecto de los objetos sino su posición dentro de la escena. Dicha imagen se muestra en blanco y negro con poca distorsión siendo sus partes más cercanas claras y las oscuras las alejadas.

### a. Funcionamiento interno

Una cámara Kinect posee un emisor infrarrojo, su luz infrarroja tiene una longitud de onda más larga que de la luz visible y no se puede ver a simple vista, a su vez posee cuatro sensores diferenciándola de una cámara de profundidad normal los cuales se distribuyen en todo el Kinect ya que posee micrófonos haciendo que dichos micrófonos se parezcan a los oídos del ser humano. El objetivo de estos micrófonos es localizar el sonido dentro de la sala y capturar el sonido. Existe también un motor dentro de la base de Kinect al ser activado el motor puede inclinar sus cámaras y altavoces de arriba y abajo, su rango de movimiento está limitado a unos 30 grados (Figura 18)



**Figura 18. Parte de cámara Kinect**

**Fuente:** (Ramos, 2013)

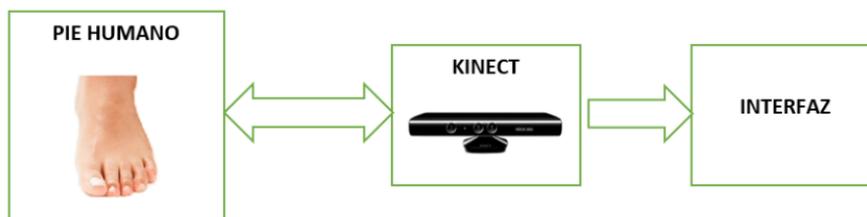
## CAPÍTULO III

### 3. PROPUESTA

#### 3.1. Diseño del sistema escáner de pie.

Un escáner 3D técnicamente es capaz de obtener datos en las coordenadas x, y, z de alguna masa predefinida. Para escanear al pie humano se desarrolla un sistema mediante una cámara Kinect que proyecta luz infrarroja para detectar la profundidad del objeto o sujeto el cual refleja hacia los sensores, esta información es enviada a una computadora que detecta al objeto en tiempo real para su debido tratamiento como se observa en el diagrama en bloques de la Figura 19.

El Kinect es utilizado en este sistema para escanear desde una parte fija el pie de un usuario que se encuentra en una plataforma que rota 360°, hasta cumplir la trayectoria con el fin de obtener el mayor número de datos, consecuentemente para pasarlo a un software para la obtención de la imagen y ponerlo en un formato adecuado para el respectivo procesamiento en un software libre. El sistema en este proyecto consiste fundamentalmente en adquirir una imagen con el fin de orientarla para obtener puntos máximos y mínimos que ayuden con la medición de diferentes áreas del pie, puesto que el algoritmo de programación presenta datos equivalentes y relativos a una horma de zapato. Se describe a continuación los pasos a desarrollarse para el adecuado funcionamiento del proyecto



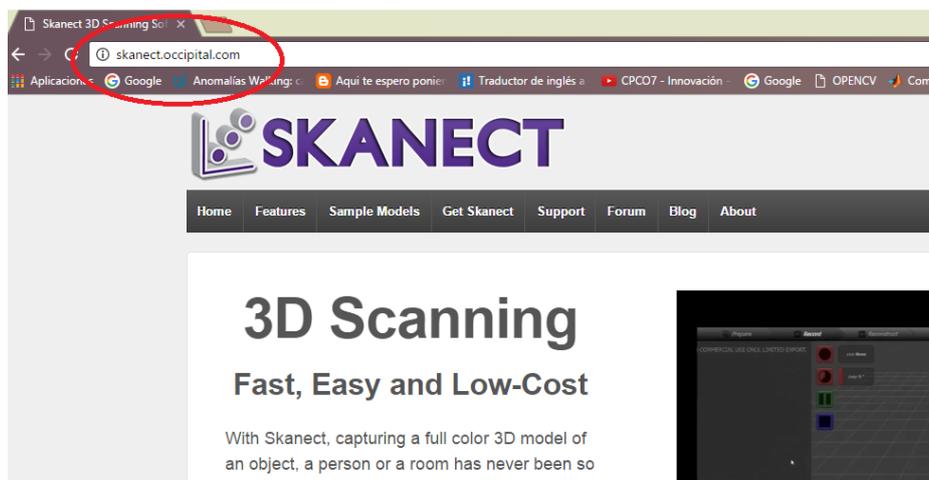
**Figura 19. Diagrama de bloques de la aplicación.**

### 3.1.1. Instalación del Skanect

Skanect es un software de la empresa ManCTL que funciona usando una cámara Kinect de Microsoft o Asus Xtion en donde se puede capturar objetos 3D en un tiempo determinado bastante rápido.

La última versión de Skanect puede instalarse en la plataforma de Windows o Mac; a su vez transforma su cámara sensor de estructura en un escáner 3D de costo económico. Facilita el escaneo en 3D de diferentes tipos de escenas obteniendo un conjunto de escenarios predefinidos, adecuados para la mayoría de los casos. A continuación se detallan los pasos para su instalación y configuración.

Para iniciar la instalación del programa ingresar a la página oficial del software como se muestra en la Figura 20, y se descarga la aplicación Skanect.



**Figura 20.** Página oficial de Skanect

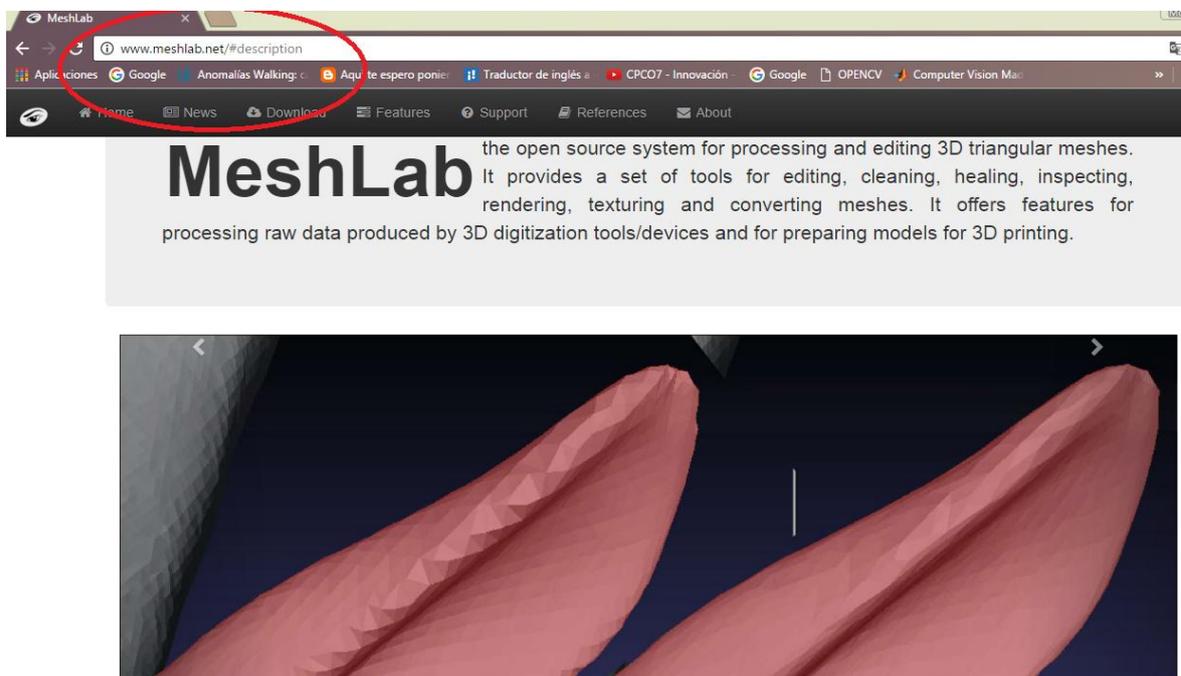
**Fuente:** (Skanect, 2017)

Al descargar el programa Skanect se procede a verificar términos, condiciones y licencia del fabricante; se selecciona la ruta de especificación donde se va a ejecutar la aplicación; de esta manera se finaliza la instalación de Skanect.

### 3.1.2. Instalación de MeshLab

Meshlab es un software con licencia GPL para diversos sistemas operativos que permite procesar imágenes 3D, con este programa se puede procesar y editar mallas triangulares no estructuradas, soportando los formatos más habituales (PLY, STL, OBJ, 3DS) y los filtros más comunes (quitar duplicados, vértices sin referencias, caras nulas, etc).

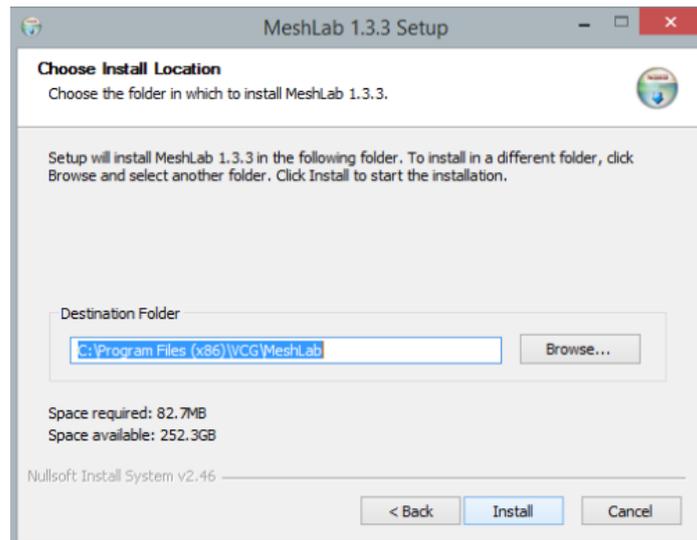
A continuación se describe el proceso de instalación de MeshLab en el sistema operativo Windows 7/8/10, que se encuentra en la página oficial de Meshlab (ver Figura 21).



**Figura 21.** Página oficial de Meshlab.

**Fuente:** (MESH LAB, 2017)

Al finalizar la descarga, inicia la instalación del programa, se deben aceptar los privilegios del administrador, para ello es recomendable que la instalación se realice directamente en el disco local C como se indica en la Figura 21 para obtener el acceso directo con Skanect y la edición directa en el proceso de escaneo 3D.

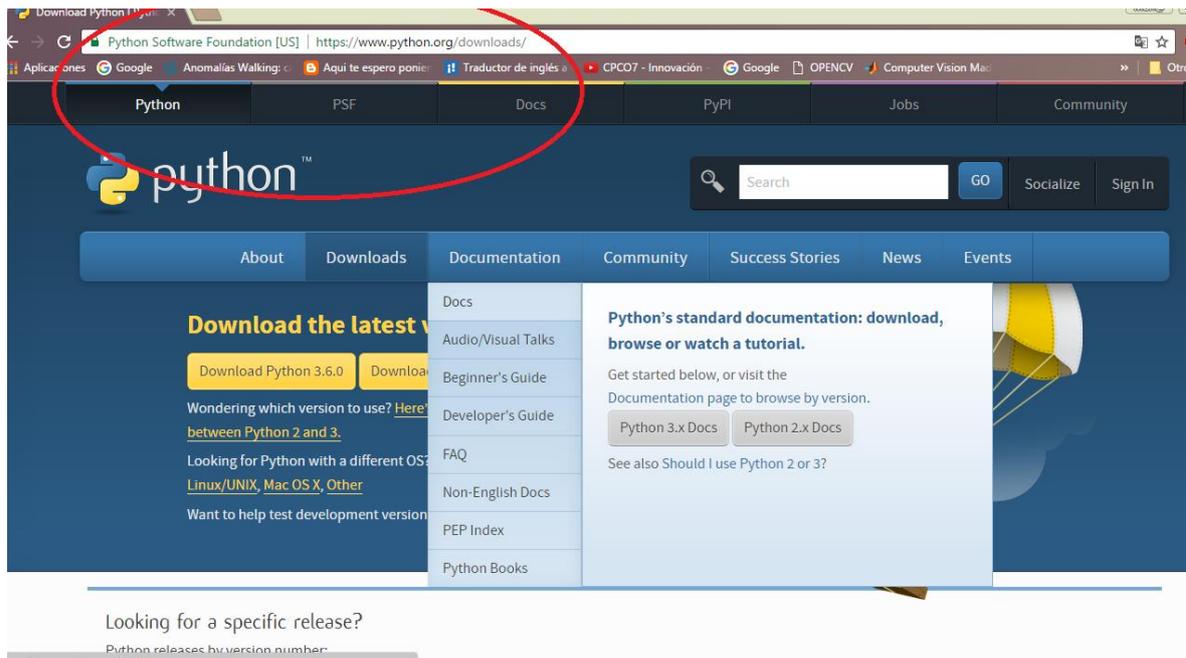


**Figura 21. Ventana de la ubicación en donde se instala el programa.**

### **3.1.3. Instalación de Software Python.**

El Software Python es un lenguaje de alto nivel y orientado a objetos que permite expresar algoritmos de forma casi directa (ha llegado a considerarse un pseudocódigo ejecutable) y se ha comprobado que se trata de un lenguaje particularmente adecuado para la creación de aplicaciones Windows a servidores de red o incluso, páginas web.

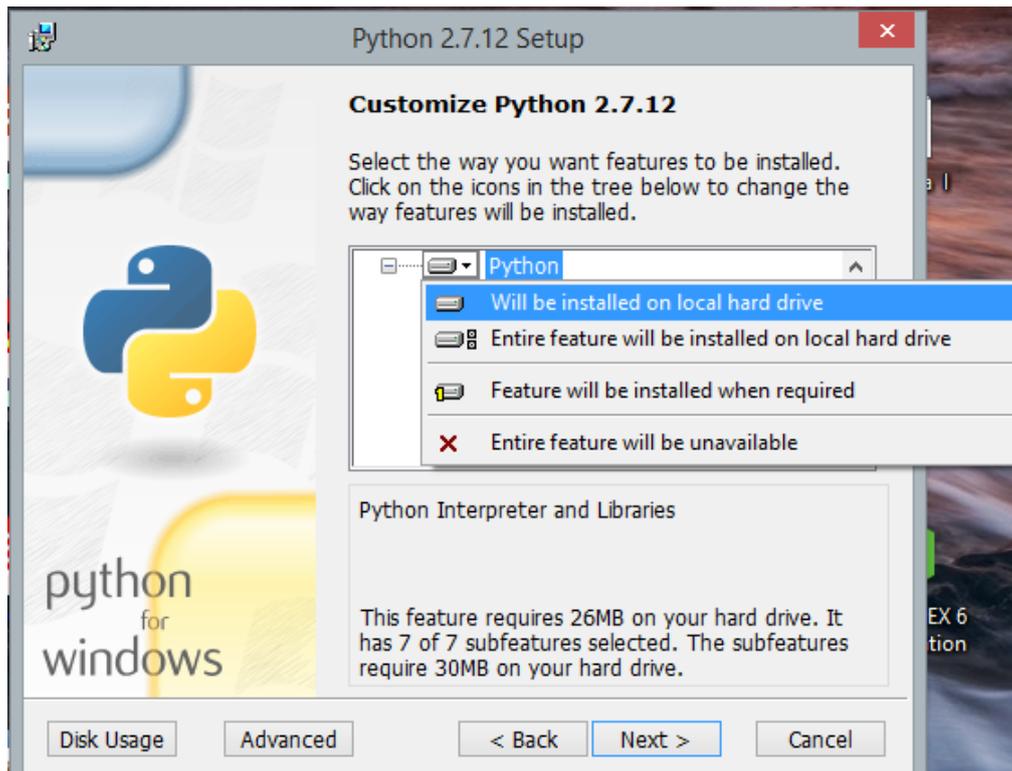
De manera seguida se describe la instalación del software Python con sus respectivas librerías para el sistema operativo Windows 7/8/10, primero se ingresa a la página oficial de Python, y en la sección de descargas se elige la plataforma Windows (ver Figura 22) y procede a descargar el paquete de instalación de Python.



**Figura 22. Página oficial del software Python**

**Fuente:** (PYTHON, 2017).

Al finalizar la descarga, se da doble clic al archivo python.msi, se instala al aceptar la ruta especificada y los paquetes necesarios para utilizar las librerías en el disco principal como se muestra en la Figura 23.



**Figura 23. Paquetes necesarios de librerías Python**

Para la instalación de librerías en el software python se ingresa al cmd, se selecciona el icono del símbolo sistema, una vez situado en la ventana se escribe el comando `cd` (ver Figura 24), seguidamente se repite el comando `cd`, una vez ingresado se escribe `cd Python27`, posteriormente aparecerá la ruta donde se instaló Python, en esta localidad se escribe el comando `pip install` con el nombre de las librerías. Una vez realizado ese procedimiento se puede hacer uso del intérprete de Python con las librerías necesarias para programar en el entorno sin ningún defecto ni error en la compilación y ejecución.



```

Microsoft Windows [Versión 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

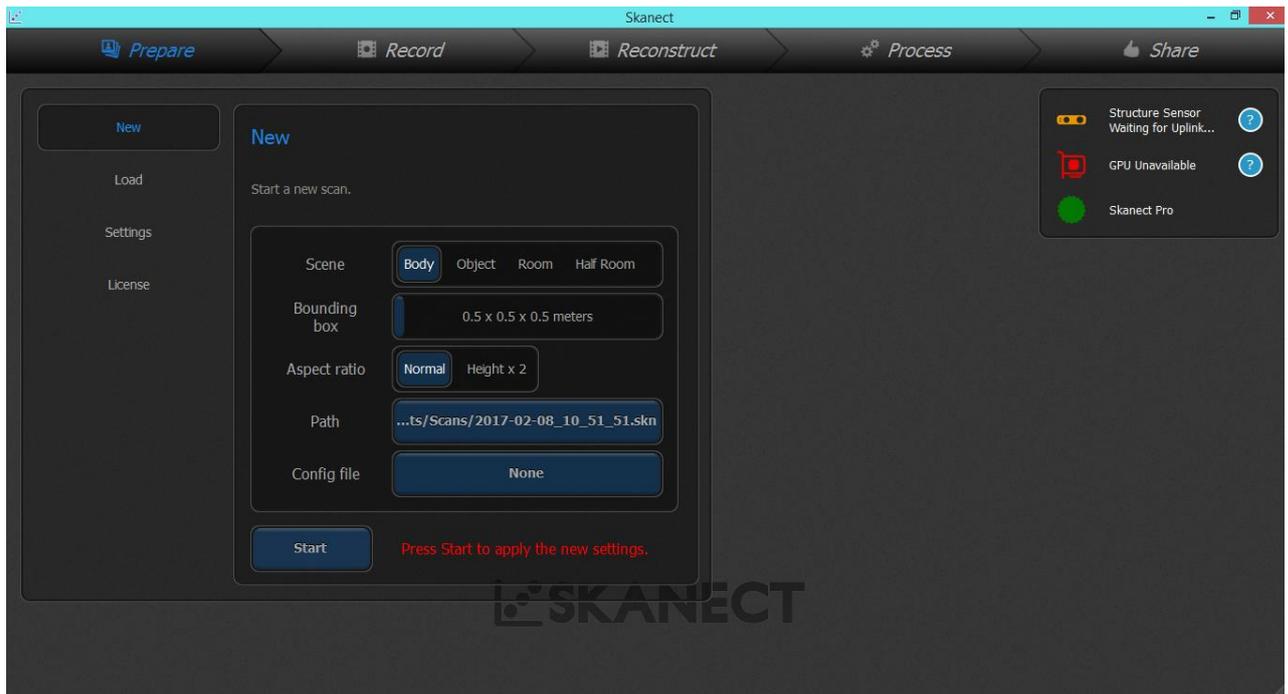
C:\Users\DaniloR>cd..
C:\Users>cd..
C:\>cd python27
C:\Python27>pip install matplotlib
Requirement already satisfied (use --upgrade to upgrade): matplotlib in c:\users\
danilor\anaconda2\lib\site-packages
Requirement already satisfied (use --upgrade to upgrade): numpy>=1.6 in c:\users\
danilor\anaconda2\lib\site-packages (from matplotlib)
Requirement already satisfied (use --upgrade to upgrade): python-dateutil in c:\
users\danilor\anaconda2\lib\site-packages (from matplotlib)
Requirement already satisfied (use --upgrade to upgrade): pytz in c:\users\danil
or\anaconda2\lib\site-packages (from matplotlib)
Requirement already satisfied (use --upgrade to upgrade): cycler in c:\users\dan
ilor\anaconda2\lib\site-packages (from matplotlib)
Requirement already satisfied (use --upgrade to upgrade): pyparsing!=2.0.4,!=2.1
.2,>=1.5.6 in c:\users\danilor\anaconda2\lib\site-packages (from matplotlib)
Requirement already satisfied (use --upgrade to upgrade): six>=1.5 in c:\users\d
anilor\anaconda2\lib\site-packages (from python-dateutil->matplotlib)

```

Figura 24. Ventana de la instalación de las librerías

### 3.2. Adquisición de datos del escáner de pie.

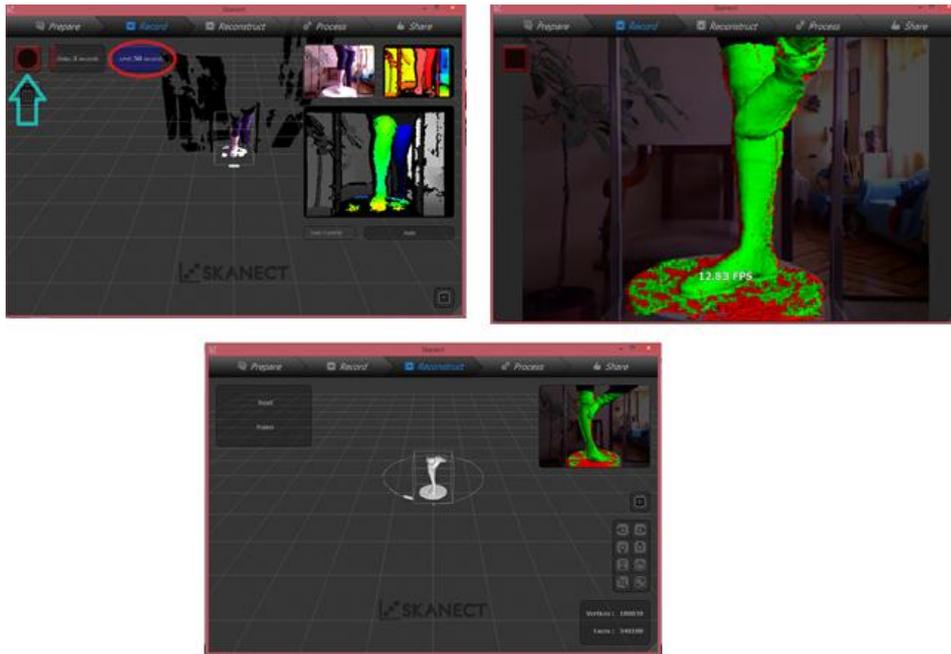
Para la adquisición de datos se trabaja en el entorno Skanect, donde se realiza la toma de la imagen 3D, para realizar las configuraciones del escaneo primeramente se selecciona en el icono cuerpo (Body), esta configuración es ideal para escáner parte de una persona con una caja delimitadora (bounding box), que por defecto viene dado por 1x1x1m. Se puede aumentar el tamaño de la caja delimitadora para escanear todo el cuerpo, pero para este proyecto se tiene una mayor precisión y enfoque a 0.5x0.5x0.5 m, cabe recalcar que estos valores dependen de las dimensiones que se le dieron al momento de ensamblar el sistema de escáner, a su vez en la opción de la relación de la altura (Aspect ratio) se elige “normal”, de esta manera logramos que la altura tenga una relación de 1 a 1 con las otras dimensiones. Se inicia nuevamente (Start) para aplicar la nueva configuración de escaneo 3D (Figura 25).



**Figura 25. Configuración de las propiedades del skanect.**

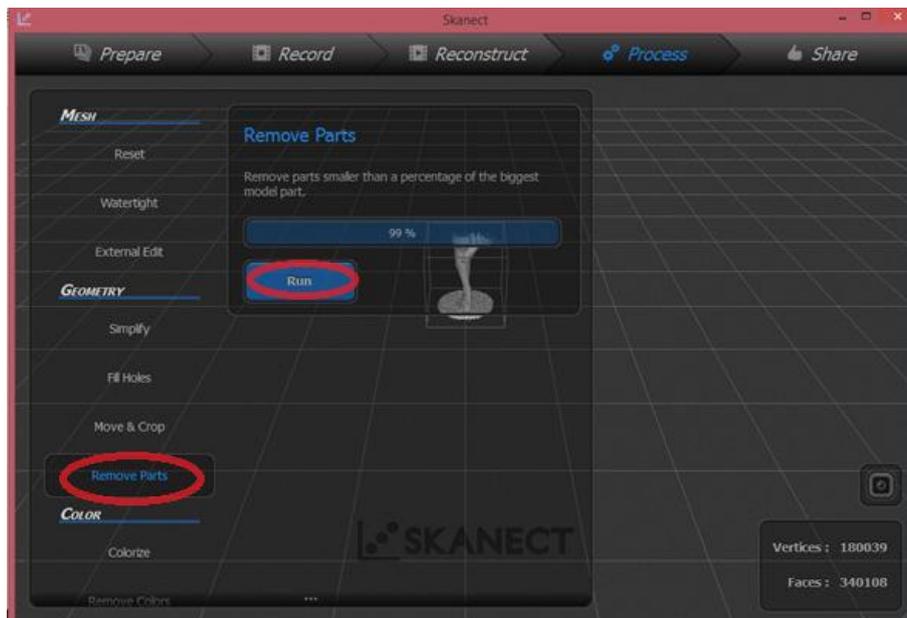
Posteriormente se tiene la ventana de inicialización del escaneo, aquí se tiene la opción del contador regresivo donde se puede configurar el tiempo para preparar adecuadamente al usuario antes de iniciar el escaneo, también se tiene la opción del límite que se puede estipular el tiempo de duración del proceso del escaneo.

Seguidamente con el botón de grabación (Record) se inicia la adquisición de la imagen 3D. Terminado el escaneo se realiza en la pestaña de reconstrucción (Reconstruct) el mejoramiento de la imagen escaneada por lo general cuando el escaneo es defectuoso (Figura 26).



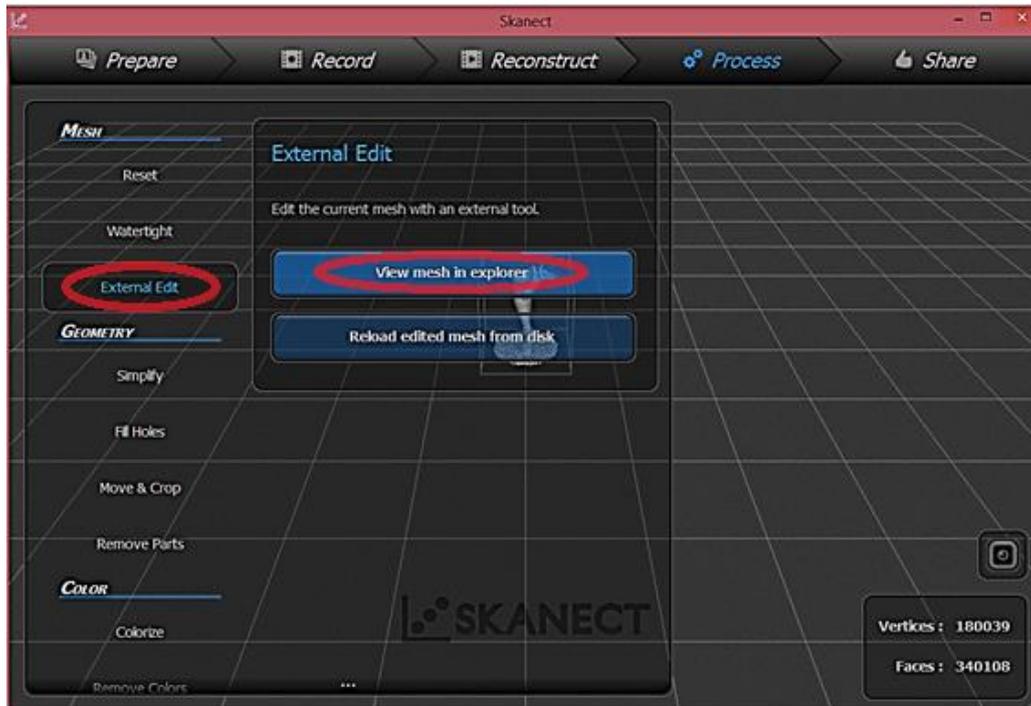
**Figura 26. Imagen escaneada del pie con las respectivas configuraciones.**

A continuación se realiza en la pestaña proceso (Process) opción geometría (Geometry), la eliminación de partes (Remove Parts) no deseadas por el escaneo (ver Figura 27).



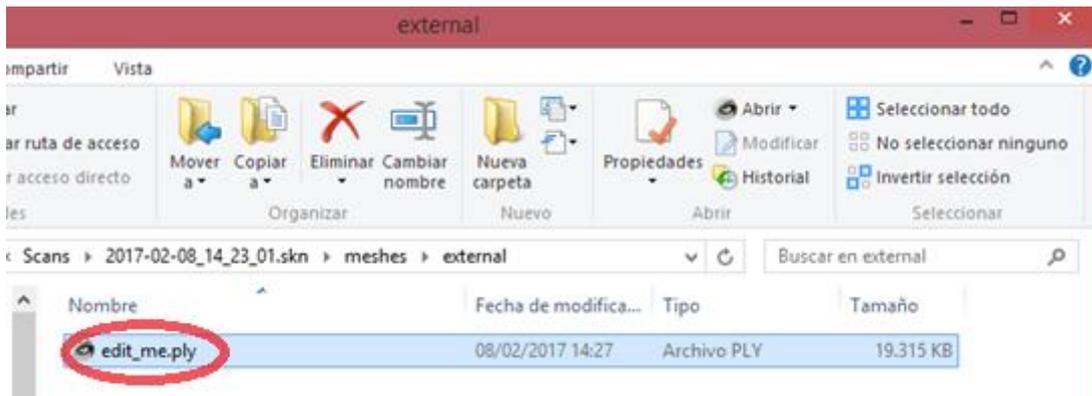
**Figura 27. Eliminación de las partes no deseadas.**

Seguidamente en la misma pestaña se selecciona la opción Mesh mostrada en la Figura 28 para la edición del escaneo así como también para el cambio de formato de la imagen.



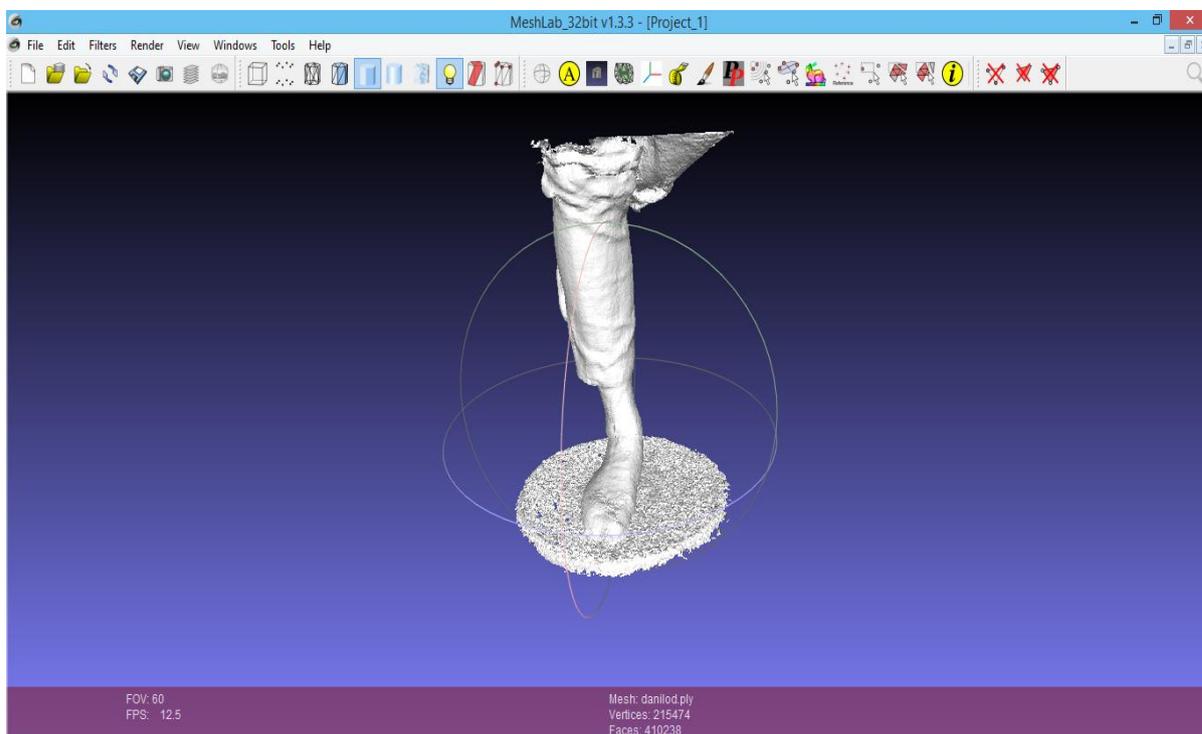
**Figura 28. Pestaña de proceso para la edición y cambio de formato.**

Se selecciona la edición externa (External Edit), opción ver malla en el explorador (View Mesh in explorer), ahí se encuentra un editor para el cambio de formato propio del software Meshlab "edit\_me.ply", como se indica en la Figura 29



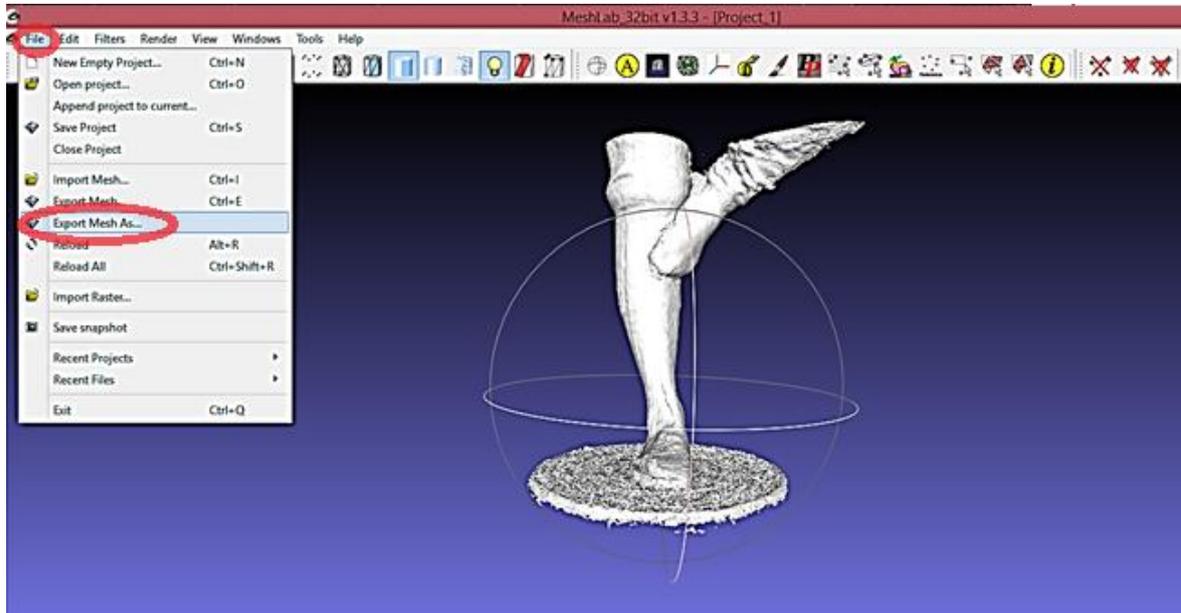
**Figura 29. Editor para cambio de formato software Meshlab**

Finalmente se debe seleccionar el editor de esta manera se ejecuta la aplicación Meshlab (ver la Figura 30), Meshlab es un software que acepta diversos archivos en los formatos PLY, STL, OBJ, 3DS, etc. Gracias a esta herramienta se puede convertir en un archivo de nube de puntos “.xyz” que posteriormente se utiliza para el desarrollo del proyecto.



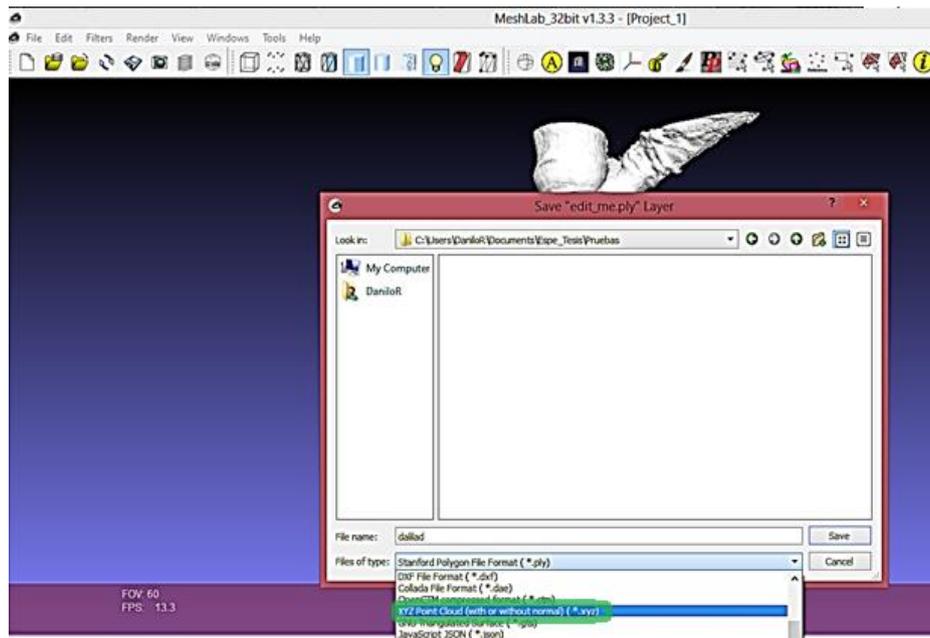
**Figura 30. Pantalla principal de Meshlab.**

A continuación se configura para el respectivo cambio de formato que se requiere para la programación que se realiza en el software Python que es el lenguaje de programación a ser utilizado. Para ello primeramente se selecciona el icono de exportar como se muestra en la Figura 31.



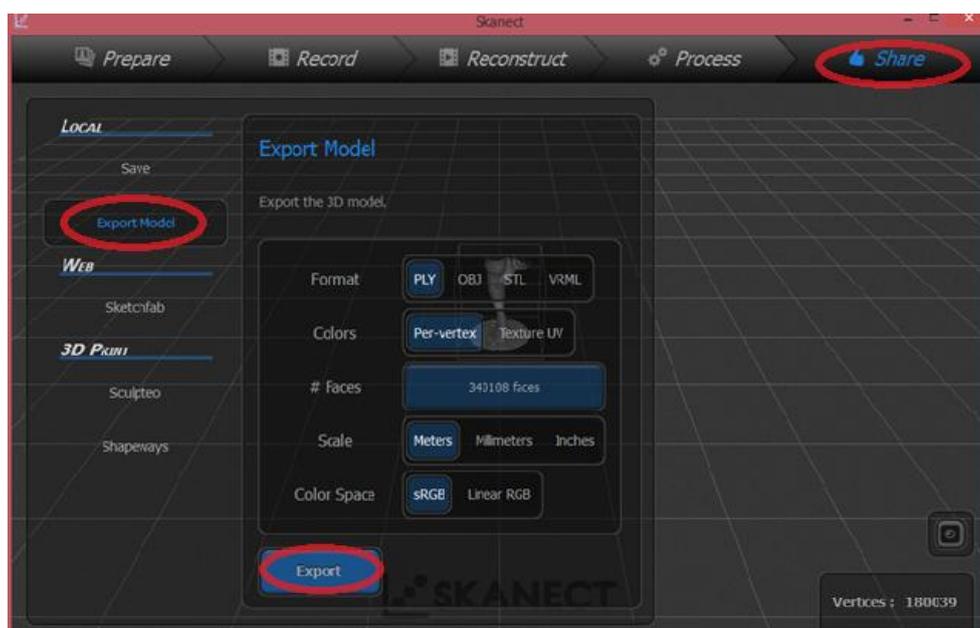
**Figura 31. Exportación para el cambio de Formato de la imagen**

Finalmente se selecciona la opción (XYZ Point Cloud with or without normal), seguidamente se elige la ruta donde se guardará el archivo como se observa en la Figura 32.



**Figura 32. Pasos para el cambio de formato de la imagen.**

Una vez terminado de forma correcta los pasos anteriores en la plataforma Meshlab mediante la opción compartir (Share), se puede exportar con las configuraciones establecidas, de esta manera se guarda en la ruta deseada para posteriormente ser utilizarla (ver Figura 33).



**Figura 33. Cambio de formato de la imagen de PLY a XYZ.**

Una vez que se realiza el cambio de formato se puede acceder a la aplicación en el software Python. Al abrir la aplicación se observan todos los datos con sus respectivas ventanas para las imágenes del pie con una interfaz gráfica muy intuitiva es decir entendible por personas que no tengan experiencia y conocimiento previo (ver Figura 34).



**Figura 34. Interfaz de la aplicación en el software Python.**

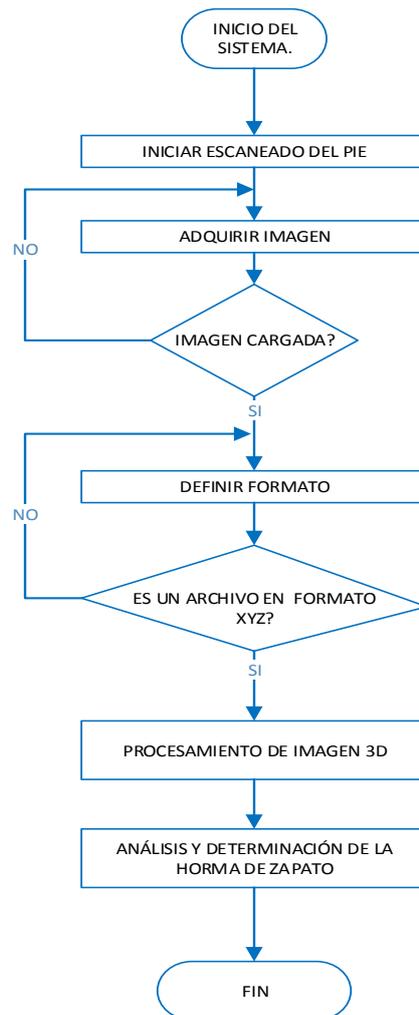
### 3.3 Desarrollo de los algoritmos de programación

Una vez instalados y modificados los parámetros de los programas de aplicación se procede a describir los algoritmos utilizados para este proyecto mediante los respectivos diagramas de flujo.

A continuación se presenta el diagrama de flujo del sistema para obtener las dimensiones del pie, el diagrama de flujo para el procesamiento de la imagen y finalmente el diagrama de flujo para la determinación de la horma de zapato a elegir

### 3.3.1 Adquisición de las dimensiones del pie.

Para realizar el diseño del sistema y obtener las dimensiones del pie para su análisis, se presenta el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 35, dando a conocer cada uno de las rutinas que ejecuta el programa.



**Figura 35. Diagrama de flujo del sistema para obtener las dimensiones del pie.**

El sistema desarrollado cuenta con una serie de rutinas por lo cual se describe cada una de las funciones realizadas en el diagrama de flujo.

### **3.3.2 Ejecución del escaneo del pie.**

Primeramente se cuenta con una cámara propia de Microsoft Kinect, mediante el cual se inicia el escaneado con la ayuda del software Skanect en donde se genera la imagen. Con la ayuda de una plataforma giratoria mediante un sistema de rotación proporciona el movimiento necesario en donde el Kinect escanea para obtener la imagen que será captada por el software mencionado anteriormente.

### **3.3.3 Adquisición de la imagen.**

Seguidamente se adquiere la imagen en el software Skanect siempre y cuando al momento de escanear no se haya generado inconvenientes como por ejemplo movimientos bruscos, intromisión de algún objeto que no estaba previsto en el escaneo, etc. Puesto que esto es importante para no tener pérdida de información y se pueda obtener el mayor número de puntos con la finalidad de procesar con mayor exactitud.

### **3.3.4 Verificaciones de la imagen generada**

En el caso de haberse cargado correctamente la imagen se procede a establecer el formato requerido y mencionado anteriormente caso contrario se repetiría el proceso hasta obtener una imagen apta para el desarrollo del programa con el fin de evitar errores o malas interpretaciones del algoritmo.

Seguidamente se compara si el archivo está en formato XYZ. De ser así se procede al desarrollo del procesamiento de la imagen 3D, caso contrario se repetirá el proceso hasta tener el formato deseado, una vez establecido y generado este archivo se procede al procesamiento de la imagen en 3D, a partir del cual se obtiene la forma del pie.

### 3.3.5 Análisis y determinación de la horma de zapato.

Finalmente se procede a establecer las dimensiones del pie con el fin de llegar al análisis para determinar la horma adecuada hacia el usuario.

### 3.3.6 Adquisición y procesamiento de la Imagen 3D

Para realizar la adquisición de la imagen del pie del usuario se presenta el diagrama de flujo de la Figura 36

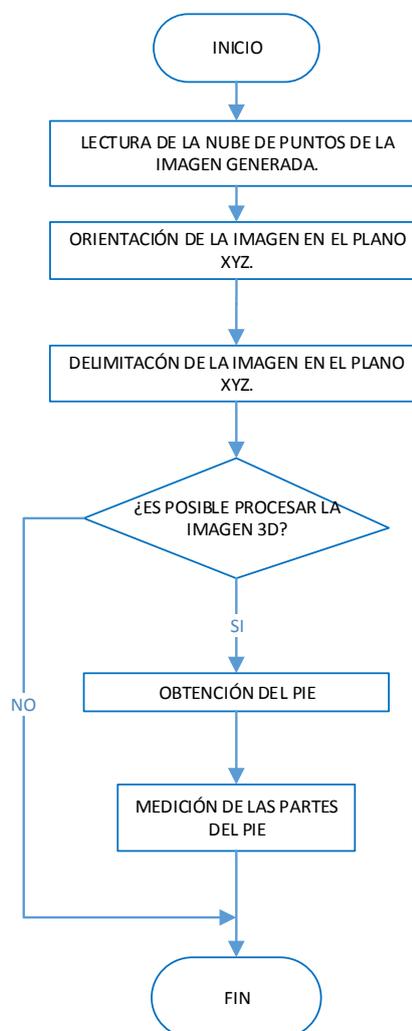


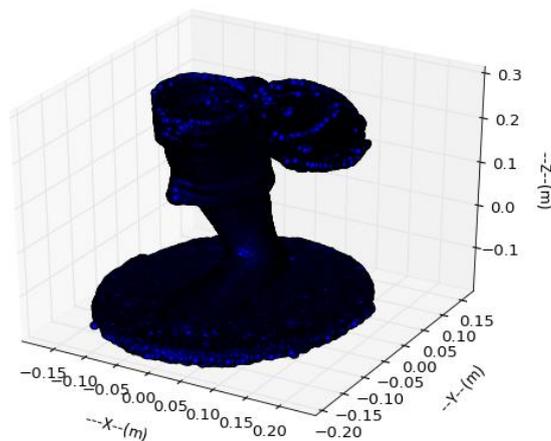
Figura 36. Diagrama de flujo para el procesamiento de la imagen.

Mediante las rutinas establecidas en el programa se da la explicación detallada a continuación.

### 3.3.7 Lectura de la nube de puntos de la imagen generada.

Al iniciar el programa este ejecuta el archivo en formato XYZ. En modo de lectura de esta manera procede a la eliminación de las normales por lo que es necesario obtener una matriz  $3 \times n$ , es decir de 3 filas y  $n$  columnas, siendo  $n$  el número de puntos de la imagen, seguidamente transfiriendo a una variable el archivo con la nueva información que posee la imagen 3D.

La Figura 37 muestra la imagen 3D en nube de puntos (x, y, z) que ingresa al programa para el procesamiento su respectivo procesamiento



**Figura 37. Imagen original del pie en nube de puntos.**

#### a) Proyección de la imagen en el plano xyz

Es necesario que la orientación de la imagen esté perpendicularmente alineada, puesto que es necesario analizar en los planos XY, XZ, YZ, para la toma de medidas de una forma exacta. Lo cual ayudará a tener mayor exactitud en la toma de medidas del pie.

Para esto se selecciona tres puntos representativos donde se encuentra ubicada la imagen del pie, estos sirven de referencia para obtener el producto cruz de estos vectores mediante la (ec. 2)

$$w = \frac{\mathbf{u} \times \mathbf{v}}{\|\mathbf{u} \times \mathbf{v}\|} = w_x i + w_y j + w_z k \quad \text{ec. (2)}$$

Para realizar la respectiva rotación respecto al eje z se utiliza la ec. (3)

$$R_x(\theta_x) = \begin{bmatrix} \cos \theta + w_x^2(1 - \cos \theta) & w_x w_y(1 - \cos \theta) & w_y \sin \theta \\ w_x w_y(1 - \cos \theta) & \cos \theta + w_y^2(1 - \cos \theta) & w_x \sin \theta \\ -w_y \sin \theta & w_x \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad \text{ec. (3)}$$

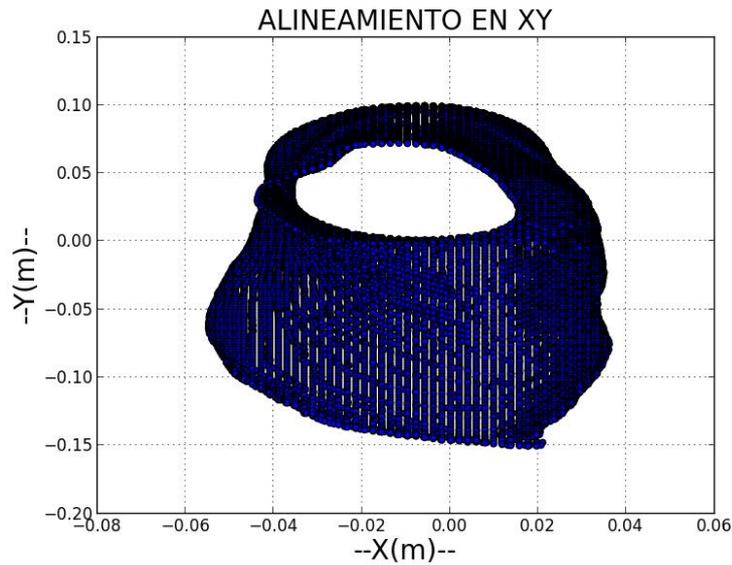
De esta manera se obtiene la alineación en el plano z siendo  $\theta$  el coseno director.

Del mismo modo con la ayuda de la ec. (4) se obtiene la alineación en el plano x, mediante el producto del resultado en el eje z y la ecuación 4 teniendo una rotación de cada punto de la imagen.

$$R_z(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & -w_z \sin \beta & 0 \\ w_z \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & \cos \beta u_z^2(1 - \cos \beta) \end{bmatrix} \quad \text{ec. (4)}$$

#### **b) Proyección respecto al plano XY.**

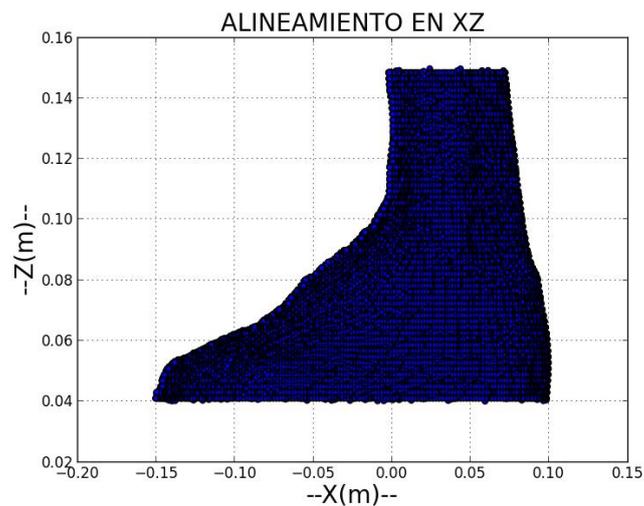
Para obtener la parte frontal de la imagen en nube de puntos respecto al plano XY seleccionamos las filas con las coordenadas de los puntos 3D en los ejes X y Y de la imagen ya procesada. En la Figura 38 se muestra proyección en el plano mencionado.



**Figura 38. Proyección en el plano XY de la imagen del pie.**

**c) Proyección en el plano XZ.**

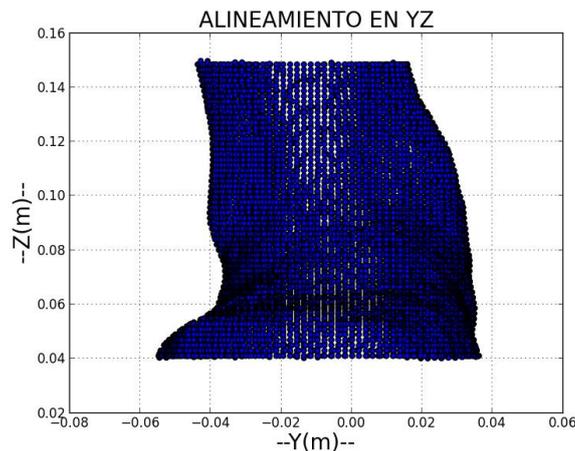
Para obtener la vista lateral de la imagen en nube de puntos en el plano XZ se toma de la matriz de datos procesada, para poder graficar una imagen en 2D. En la Figura 44 se puede observar la proyección en el plano XZ para la obtención de la dimensión de la entrada del pie o empeine para la horma de zapato.



**Figura 39. Alineación en el plano XZ de la imagen del pie.**

#### d) Proyección respecto al plano YZ

Para conseguir la parte Superior de la imagen en nube de puntos respecto al eje YZ como se muestra en la Figura 40, se toma la fila del eje Y y la fila del eje Z utilizando los datos del recorte con su delimitación para poder graficar una imagen en 2D.



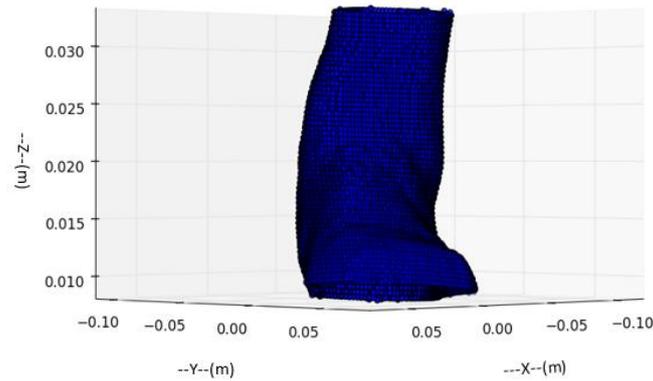
**Figura 40. Proyección en el plano YZ de la imagen del pie.**

#### 3.3.8 Delimitación de la imagen en el plano xyz

Para la delimitación de la imagen es necesario la orientación antes descrita para de esta manera saber cuáles son los contornos en donde se tiene la información y mediante esta generar un dimensionamiento, de esta forma se logra obtener mejores resultados al medir la imagen establecida.

Para realizar la delimitación de las partes implicadas en el dimensionamiento de la imagen es necesario haberlo orientado como se estableció en la sección anterior para de esta manera realizar un análisis detallado del pie.

Una vez delimitado la imagen buscamos cuales son los puntos máximos y mínimos obtenidos por cada eje de coordenada ya sea en X, Y y Z, para limitar en nube de puntos y poder procesar las dimensiones requeridas de acuerdo a la horma de zapato. En la Figura 41 se muestra la delimitación realizado en 3D.



**Figura 41. Delimitación de la Imagen en el plano Tridimensional**

### 3.3.9 Medición de las partes del pie

Finalmente se establece el cálculo con las partes más estratégicas del pie que viene dado por la longitud del pie, el ancho del pie y el empeine. Estas partes establecen la forma y dimensión de la horma a ser tomada en cuenta para su comparación. En el Anexo A se presentan las líneas de código y las librerías utilizadas para el desarrollo del programa que se describe en el diagrama de flujo.

### 3.4. Análisis y determinación de la horma de zapato.

Para realizar la determinación de la horma de zapatos, es necesario aclarar que las medidas se adjuntaron en la base de datos de las diferentes hormas de zapatos obtenidas, en la Tabla 2 se muestra el número de hormas conseguidas en cada una de las tallas tanto para el pie derecho como para el pie izquierdo.

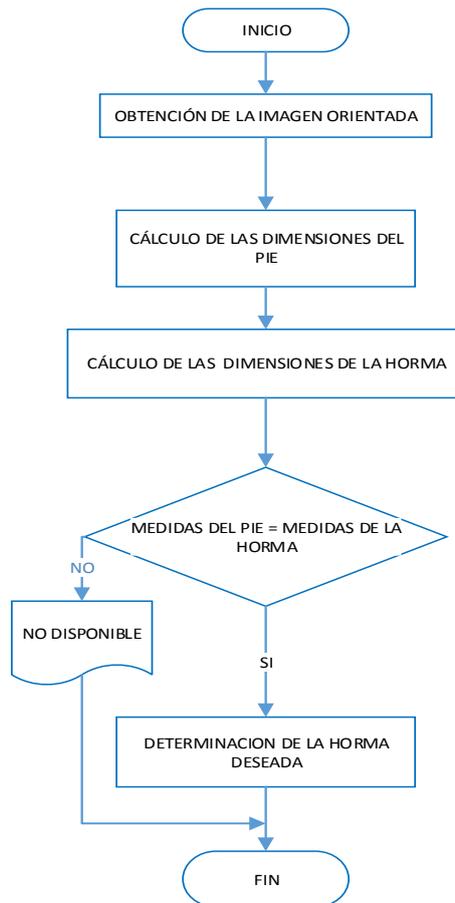
Tabla 2.

## Descripción de las hormas de zapatos obtenidas para cada talla.

Hormas de zapatos obtenidas	
Número de Hormas	Talla
4	31
2	31,5
4	32
2	32,5
4	33
4	33,5
4	34
2	34,5
4	35
2	35,5
4	36
2	36,5
4	37
2	37,5
4	38
2	38,5
4	39
2	39,5
4	40
2	40,5
4	41
2	41,5
4	42

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el diagrama de flujo para la determinación de las medidas de la horma de zapato a elegir, primeramente se debe iniciar con el análisis de las imágenes obtenidas anteriormente, realizando el cálculo de la dimensión de la planta del pie o la longitud de la planta del pie. Una vez que se obtiene el cálculo de la dimensión de la planta del pie se realiza el análisis correspondiente para el cálculo de la dimensión de los dedos del pie. Al obtener las dos medidas se realiza el cálculo de la dimensión de entrada del pie o empeine, esta dimensión ayuda obtener el ancho del empeine ya sea en el pie derecho o en el izquierdo.

Al obtener las medidas del pie se procede analizarlas para establecer hormas acorde a estas dimensiones, ya que se realizará la comparación entre la imagen escaneada y la base de datos de hormas existentes, por lo tanto si no existiese la dimensión de horma de zapato obtenida por el escaneo 3D, se procederá a guardar esas dimensiones para la fabricación de una nueva horma de zapato.



**Figura 42. Diagrama de flujo para la determinación de las medidas de la horma de zapato.**

Para el cálculo de las medidas de la horma de zapato se debe obtener primero la longitud de pie, para lo cual se realiza un análisis punto a punto sobre el talón del pie que desde ahí se realizará la medición y con la ayuda de los puntos

máximos y puntos mínimos se realizará el cálculo de la dimensión entre dos puntos mediante la ecuación 5.

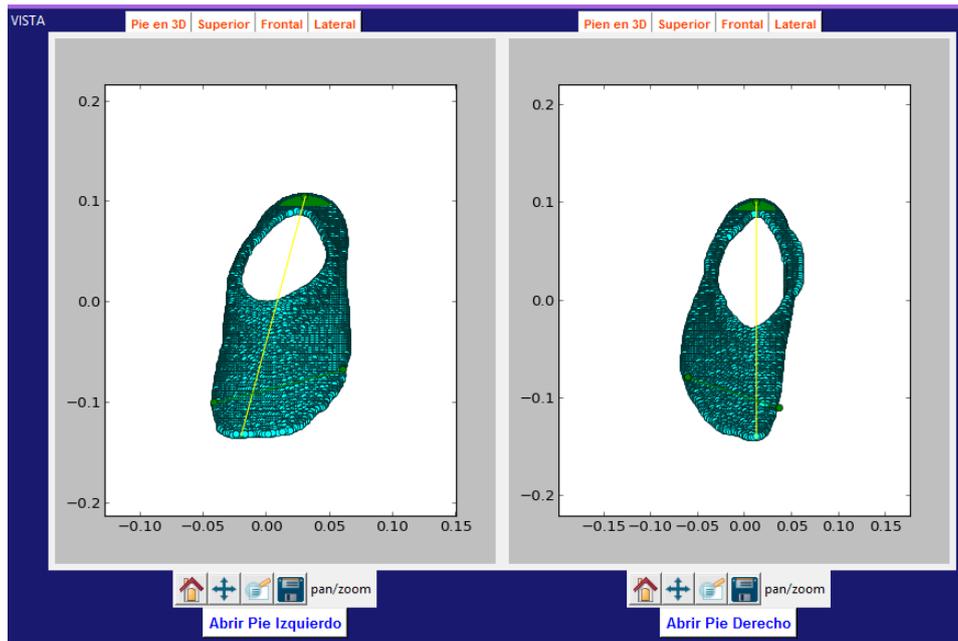
$$\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} = d \quad \text{ec (5)}.$$

Gracias a la distancia entre dos puntos en el plano 2D se analizará y se obtendrá mediante código de programación todas las medidas correspondientes para el cálculo de la horma de zapato en la adaptación ergonómica del deportista.

Del mismo modo para el cálculo del ancho de dedos se realiza el cálculo punto a punto desde cada una de las partes máximas del hacho del pie con la ecuación 5 descrita anteriormente. Finalmente para obtener la dimensión de la entrada del pie el algoritmo tiende a calcular las partes máximas del talón y del hueso del empeine para realizar el dimensionamiento punto a punto con la ecuación 5.

### **3.5. Diseño e implementación del interfaz de usuario**

Para el diseño de la interfaz gráfica se utilizará una ventana general donde se encuentran dos botones para visualizar el pie derecho y el pie izquierdo donde se representa las medidas del pie en su forma superior, forma frontal, lateral, y la forma del pie en 3D derecho como izquierdo; botones y cajas de texto como se muestra en la Figura 43.



**Figura 43. Interfaz Gráfica.**

A su vez contiene un menú de cajas de texto donde se ingresan los datos principales de los usuarios como son los nombres completos, cédula de identidad, altura, peso, género, edad, teléfono, esto nos ayudará para guardar en una base de datos y tener registrado para una próxima escaneada de sus pies para ver la medida de hormas de zapato, como se observa en la Figura 44.

Datos Clientes	
Nombres:	Daniel Jose
Apellidos:	Chicaiza Fernandez
CI:	1804202541
Altura:	1.65 m
Peso:	65kg
Genero:	M
Edad:	20
Telefono:	0984563124

**Figura 44. Ventana para llenar los Datos del Usuario.**

La interfaz gráfica de este proyecto posee un menú donde se muestran los resultados de las medidas de los pies ya sea el pie derecho como el pie izquierdo;

en dichos resultados se muestra la longitud del pie, la medida de dedos del pie y la entrada o empeine del pie, con estos datos automáticamente se realiza una comparación con las medidas preestablecidas en la base de datos para ver si está o no disponible la horma de zapato dada por el fabricante, a su vez dando a conocer la talla respectiva, como se indica en la Figura 45.

Pie Izquierdo	Pie Derecho
Longitud del Pie: 23.9 cm	Longitud del Pie: 23.75 cm
Ancho de Dedos: 10.68 cm	Ancho de Dedos: 10.21 cm
Entrada del Pie: 12.88 cm	Entrada del Pie: 12.92 cm
Talla: 38	Talla: 38
Disponible: 100	Disponible: 100

**Figura 45. Datos adquiridos del usuario pie derecho/izquierdo.**

En la interfaz existen cuatro botones cada uno con sus respectivas aplicaciones, a continuación se indica detalladamente su funcionalidad:

- El botón “buscar usuario” se utiliza para generar información obtenida anteriormente mediante el número de cédula. Si el usuario consta dentro de la base de datos, el sistema automáticamente presenta la información, caso contrario no existirá ningún éxito en la búsqueda de la información y mostrará en sus casillas “Sin Registro (S/R)”.
- El botón exportar se utiliza para guardar en un block de notas el historial de cada usuario con las medidas de los pies y su respectiva información.
- El botón guardar archiva los datos personales y medidas que se obtienen de los pies del usuario de la imagen escaneada en la base de datos.
- El botón borrar sirve para resetear la pantalla y así poder ingresar los datos de un nuevo usuario.

Los botones mencionados respectivamente se indican en la Figura 46.



**Figura 46. Botones utilizados dentro de la interfaz gráfica.**

Adicionalmente existen dos botones, para realizar una medición manual y un botón para borrar los datos como se observa en la Figura 47. El procedimiento que se debe seguir para realizar esta medición es la siguiente:

- Primeramente se debe dirigir al botón “medir manualmente”, con el cual habilitamos esta opción.
- Con el cursor en el panel de la imagen escaneada seleccionamos la pestaña mover, de esta manera se podrá ubicar en cualquier parte de la imagen.
- Seguidamente ubicar el cursor en la imagen y con ayuda del mouse seleccionar dos puntos que presentarán la dimensión deseada.
- Por último se debe seleccionar “medir manualmente” y se obtienen datos de la medición seleccionada, de esta manera se puede comparar estas medidas con las que se obtiene con el sistema automático descrito anteriormente.

Para realizar una nueva medición manual se encera con el botón “borrar medida”, de esta manera se puede volver a realizar diferentes mediciones.



**Figura 47. Botones para realizar una medición manual.**

### 3.6. Integración del sistema

El sistema utiliza un motor reductor eléctrico de corriente alterna, el cual realiza un giro continuo de aproximadamente 360 grados a la persona, mediante la cámara Kinect con su respectivo software Skanect, el sensor captura por cada segundo la imagen en 3D, al instante que el motor empieza su recorrido. Se debe tener en cuenta que la cámara permanece fija mientras el usuario va rotando, con lo cual los datos son enviados al computador para realizar el procesamiento de la imagen y poder analizar la horma del zapato adecuado (ver Figura 48).

El proyecto incluye una plataforma que sustenta al motor, al Kinect y partes que ayudan a la estabilidad de la persona, las dimensiones están dadas de acuerdo al mejor desempeño y valorización de los dispositivos antes mencionados al momento de escanear y tomar los diferentes datos. En el Anexo B se muestra el plano que se realiza para la estructura de la plataforma.

## ADQUISICIÓN DE IMAGEN

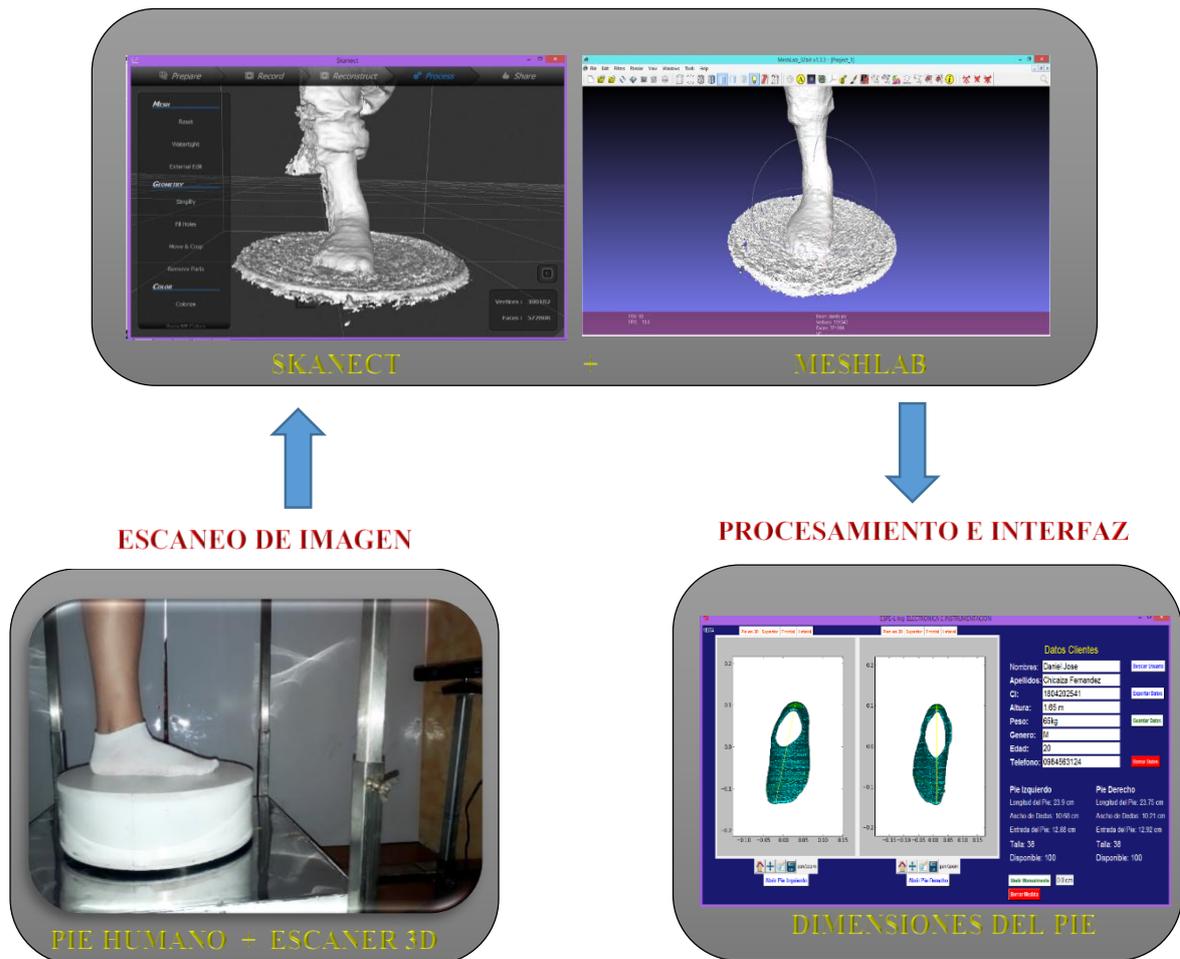


Figura 48. Integración del sistema.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se presentan las pruebas del funcionamiento del sistema y las pruebas experimentales en los usuarios; además se realizan los análisis de los mismos, con el fin de obtener los alcances y limitaciones del sistema escáner 3D. Para ello se realizaron las pruebas utilizando la plataforma giratoria, la cámara Kinect, los programas donde se obtienen los resultados de las medidas de los pies, a su vez estas medidas son presentadas en una interface gráfica para el usuario. Finalmente se realiza la comprobación de la hipótesis establecida en el proyecto de investigación.

#### 4.1. Pruebas de funcionamiento del sistema.

Las pruebas de funcionamiento son las que ayudan a determinar y establecer las medidas necesarias para realizar un análisis de las hormas de un calzado adecuado. Se realizan pruebas en la obtención de la imagen y en la obtención de las medidas del pie. Para ello se cuenta con una muestra de 62 usuarios entre niños y adultos los cuales colaboraron en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

##### 4.1.1 Pruebas de funcionamiento en la obtención del pie

Para las pruebas de funcionamiento en la obtención del pie es necesario mencionar que el sistema incorpora una plataforma giratoria, una cámara Kinect, y el software Skanect que permiten llevar a cabo el proceso de la adquisición de la imagen.

En la Figura 50 se indica la posición correcta del pie izquierdo y del pie derecho que debe tener el usuario al momento del escaneo del pie y así evitar datos no deseados en la imagen tridimensional ya que puede provocar resultados erróneos al momento del procesamiento de la imagen.



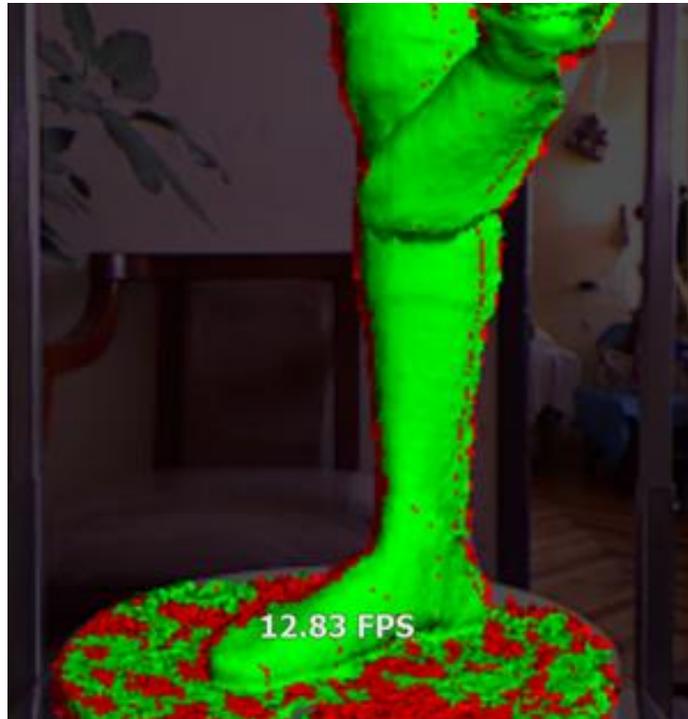
**Figura 49. Posición correcta de los pies del usuario para la obtención de la imagen del pie.**

Seguidamente, para realizar las pruebas de funcionamiento en la obtención de la imagen, es necesario escanear el pie, para lo cual la plataforma giratoria rota en sentido de las manecillas del reloj como se puede observar en la Figura 50, la rotación es de 360 grados en aproximadamente 50 segundos que es el intervalo de tiempo para adquirir la imagen del pie.



**Figura 50. Prueba de funcionamiento de la plataforma giratoria.**

Al mismo tiempo que la plataforma giratoria va rotando, la cámara del Kinect escanea el pie del usuario y se obtiene en tiempo real la imagen en el software Skanect como se muestra en la Figura 51.



**Figura 51. Prueba del escaneo en tiempo real**

Una vez terminado el escaneo de los 62 usuarios, se procede a observar si dicho escaneo es factible para ser utilizado dentro de análisis de las medidas del pie. Para lo cual se muestra en la Tabla 3 los datos que se obtienen después de escanear a todos los usuarios. Hay que aclarar que la muestra original era de 62 usuarios, de los cuales 10 de ellos fueron desechados ya que existían errores al momento del escaneo del pie. Se debe tener en cuenta que la mayoría de errores se dio en niños puesto que son más inquietos al momento de realizar dichas pruebas y no mantenían fija la posición sobre la plataforma giratoria. Para ello en los siguientes análisis únicamente se toman en cuenta los datos correspondientes a 52 usuarios.

Tabla 3.

## Descripción de los usuarios para la prueba del escáner.

Tipos de usuarios	Número de Usuarios	Pruebas del escáner	
		Exitosas	Fallidas
Niños	10	3	7
Adultos	52	49	3
<b>Total</b>	<b>62</b>	<b>52</b>	<b>10</b>

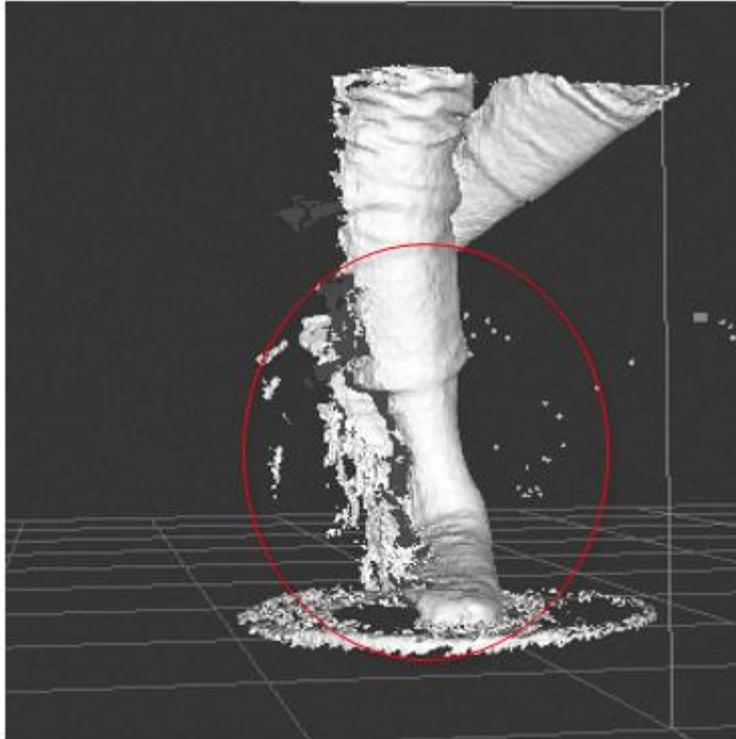
Como se muestra en la Figura 52, se procede a graficar la tabla del escaneo del pie, dando como resultado que un 84% de usuarios escaneados son aceptables para realizar el análisis del funcionamiento correcto del programa. Los datos erróneos fueron del 16% los cuales son descartados porque que no eran idóneos para el análisis, ya que las imágenes obtenidas no estaban completamente adquiridas, poseen datos basuras o tienen espacios vacíos.



**Figura 52. Gráfica del porcentaje de las pruebas exitosas y fallidas del escaneo.**

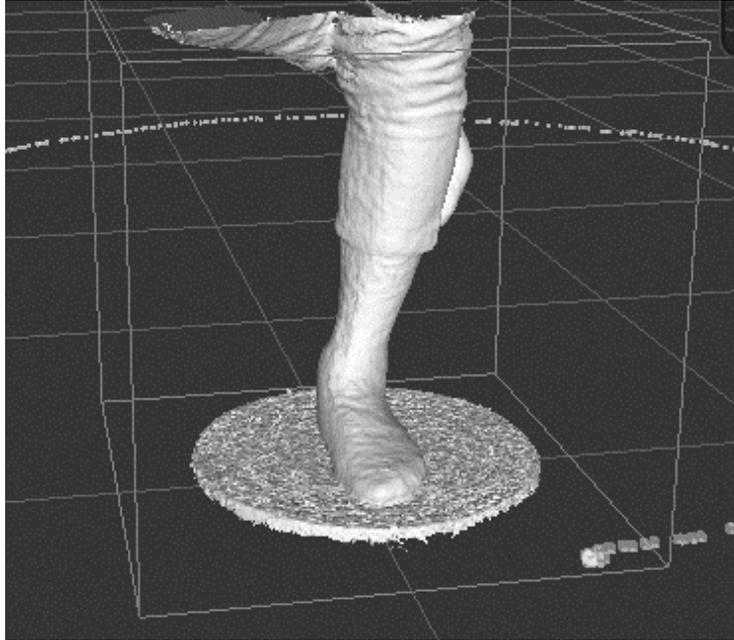
Las imágenes erróneas no son tomadas en cuenta debido a la mala ubicación o movimientos exagerados por parte del usuario, esto provoca una adquisición errónea de la imagen como se observa en la Figura 53. Estas

imágenes no son tomadas en cuenta para las pruebas que se realizan para la obtener las medidas del pie.



**Figura 53. Obtención de una imagen errónea en el software Skanect**

En la Figura 54, se observa una de las imágenes aceptables para el cambio de formato de ply a xyz, y que es utilizada en el procesamiento de la imagen y obtención de las medidas.



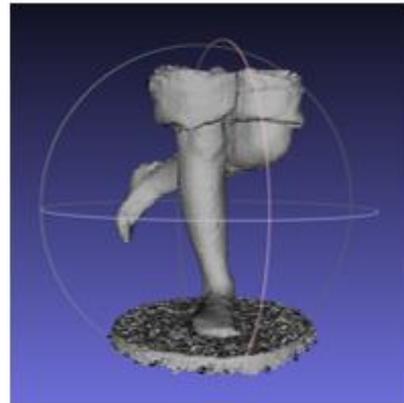
**Figura 54. Obtención de la imagen en el software Skanect**

#### **4.1.2 Pruebas de funcionamiento en la obtención de las medidas del pie.**

Para obtener las medidas del pie, primeramente se debe realizar las pruebas del cambio de formato de ply a xyz con la ayuda del software MeshLab, teniendo en cuenta que se lo realiza solamente a las imágenes correctas que se menciona anteriormente. En la Figura 55(a), se puede observar la imagen importada en formato ply y que posteriormente mediante el software, se cambia a un formato xyz como se como se muestra en la Figura 55(b).



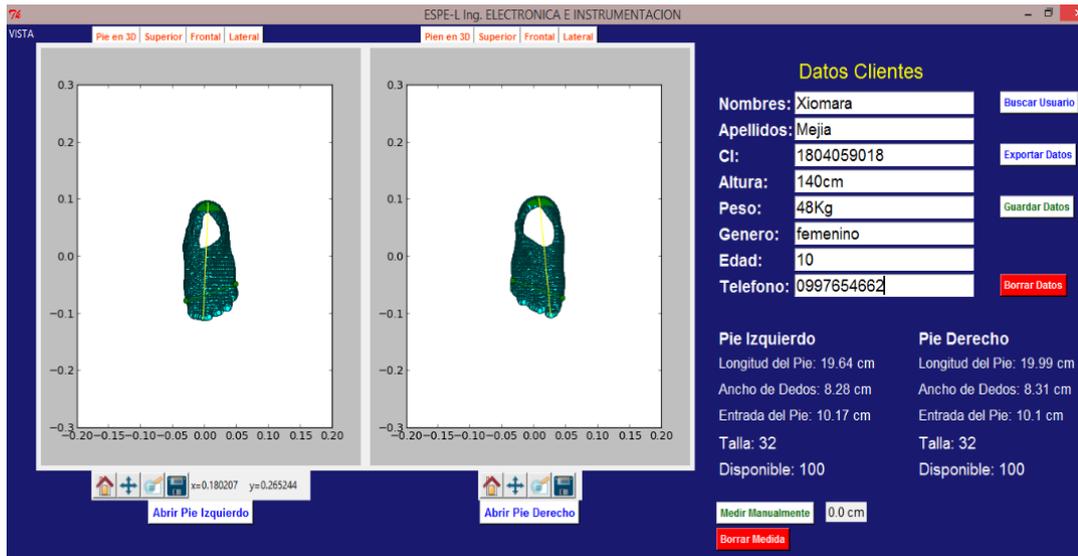
a) Pie en formato ply.



b) Pie en formato xyz

**Figura 55. Prueba realizada para el cambio de formato de ply a xyz**

Una vez concluida la toma de imagen y el cambio de formato se procede a obtener las medidas de los pies de cada uno de los 52 usuarios, para ello en el capítulo 3 se describe el desarrollo del algoritmo de programación donde se determina las dimensiones requeridas al momento de analizar la horma adecuada para la adaptación ergonómica del deportista. En la Figura 56, se pueden observar el pie izquierdo y del pie derecho del usuario, además se indican los resultados de las pruebas realizadas para obtener la talla resultante con la ayuda de los siguientes parámetros: la longitud del pie, ancho de dedos, entrada de pie o empeine.



**Figura 56. Interface gráfica principal con la información del usuario.**

## 4.2. Pruebas experimentales en usuarios

Las pruebas experimentales en los usuarios se las realizaron con las imágenes 3D adquiridas correctamente en el escaneo, teniendo un total de 104 muestras las cuales son: 52 del pie izquierdo y 52 del pie derecho, obteniendo un rango de medidas de los 52 usuarios comprendida entre las tallas 31 hasta la 42. Cabe recalcar que al momento de realizar el escaneo, el usuario debe colocarse media o calcetín de color blanco ya que este color ayuda a que sea más visible la imagen para la cámara Kinect, la variación de las medidas por este motivo son mínimas puesto que para utilizar un calzado deportivo se lo hace casi siempre puesto esta prenda.

En la Tabla 4 se presentan los valores que se obtienen tanto del pie derecho como del pie izquierdo en las que se incluyen las medidas de la longitud, ancho de dedos, entrada de pie o empeine y de esta manera se determina la talla según los datos que se obtienen del programa. Estos datos muestran que existe en el mismo número de talla de calzado diferentes valores para la longitud del pie, ancho de dedos y la entrada de pie pero se debe aclarar que el programa

tiene un rango de medidas para cada talla como puede ser: talla a, talla b, talla c, etc.

**Tabla 4.**

**Descripción de las medidas del pie izquierdo y derecho dadas por el programa.**

Número de usuarios	Medidas del pie izquierdo				Medidas del pie derecho			
	Longitud del pie	Ancho de dedos	Entrada de pie	Talla	Longitud del pie	Ancho de dedos	Entrada de pie	Talla
1.	18,87	7,82	9,88	31 B	18,98	7,32	10,45	31 B
2.	18,77	10,45	10,88	31 B	18,62	8,44	11,21	31 B
3.	18,77	7,57	10,28	31 B	18,86	8,45	10,73	31 B
4.	19,27	8,35	12,36	31,5 A	19,3	9,16	10,8	31,5 A
5.	19,64	8,28	10,17	32 A	19,99	8,31	10,1	32 A
6.	20,32	8,43	10,44	33 A	20,21	8,31	10,46	33 A
7.	20,43	8,4	10,83	33 A	20,14	8,59	10,21	33 A
8.	20,38	8,64	10,54	33 A	20,45	8,38	10,4	33 A
9.	20,98	10,61	12,24	33,5 B	20,84	8,63	12,29	33,5 A
10.	20,65	9,05	10,69	33,5 A	20,86	6,84	10,23	33,5 A
11.	20,76	8,72	11,06	33,5 A	20,61	8,51	11,48	33,5 A
12.	21,25	8,86	11,84	34 B	21,17	7,75	11,35	34 B
13.	21,39	10,18	11,86	34 B	21,11	9,42	11,28	34 B
14.	21,81	8,59	14,91	35 C	21,88	8,68	11,77	35 C
15.	21,83	8,8	12,04	35 C	21,87	9,44	11,64	35 C
16.	21,71	9,14	11,14	35 B	21,78	8,77	11,22	35 B
17.	21,91	9,52	11,61	35 D	21,98	9,47	12,31	35 D
18.	21,56	8,03	11,99	35 A	21,62	8,09	12,24	35 A
19.	21,64	7,75	12,31	35 A	21,51	7,42	11,21	35 A
20.	21,53	9,41	12,28	35 A	21,69	8,35	11,55	35 A
21.	21,65	7,96	11,37	35 A	21,62	8,87	11,5	35 A
22.	21,68	8,27	11,32	35 A	21,51	7,82	11,31	35 A

**CONTINÚA** 

23.	22,34	9,26	12,22	35,5 A	22,1	9,65	11,89	35,5 A
24.	22,94	9,31	12,24	36 A	22,94	9,07	12,02	36 A
25.	22,56	10,64	12,6	36 A	22,79	9,15	12,48	36 A
26.	22,78	9,99	13,15	36 A	22,55	9,47	12,5	36 A
27.	22,67	9,87	13,96	36 A	22,43	9,12	13,63	36 A
28.	22,8	9,61	12,78	36 A	22,81	9,47	12,59	36 A
29.	22,61	9,49	11,86	36 A	22,72	9,19	12,43	36 A
30.	22,67	10,59	15,47	36 A	22,96	8,89	12,55	36 A
31.	22,84	10,66	13,29	36 C	22,84	8,93	13,6	36 C
32.	22,38	8,56	11,98	36 A	22,82	8,48	13,12	36 A
33.	22,7	9,48	12,9	36 A	22,94	9,13	12,82	36 A
34.	23,36	9,75	13	36,5 A	23,03	10,16	11,96	36,5 A
35.	23,88	9,07	14,69	38 A	23,89	8,59	13,74	38 A
36.	23,98	9,44	12,82	38 D	23,94	9,58	12,65	38 D
37.	23,66	10,17	12,72	38 B	23,72	10,4	13,18	38 B
38.	23,64	11,49	12,83	38 B	23,67	9,25	12,57	38 B
39.	23,77	10,85	13,64	38 B	23,57	10,46	12,69	38 B
40.	23,58	11,52	13,06	38 B	23,68	10,55	13,35	38 B
41.	23,66	11,68	12,88	38 B	23,75	10,21	12,92	38 B
42.	24,39	9,03	15,81	39 A	24,26	8,94	14,69	39 A
43.	24,31	9,26	13,09	39 A	24,36	10,03	13,67	39 A
44.	24,04	9,5	12,78	39 A	24,42	9,54	12,87	39 A
45.	24,37	10,33	12,9	39 A	24,14	9,46	13,5	39 A
46.	24,8	10,0	12,22	40 B	24,93	9,03	13,37	40 B
47.	24,68	10,64	13,69	40 A	24,78	9,71	13,15	40 A
48.	25,92	11,67	13,18	41 B	25,98	10,9	16,13	41 B
49.	25,69	11,05	14,24	41 A	25,58	9,34	14,82	41 A
50.	26,29	10,37	15,49	42 A	25,22	10,61	14,19	40,5 A
51.	26,3	9,63	15,63	42 A	26,21	8,37	15,14	42 A
52.	26,69	9,8	14,48	POR DEFINIRSE	26,68	10,46	14,72	POR DEFINIRSE

Como se observa en la Tabla 4, existen tallas con diferentes opciones, pero con el mismo número de talla, esto mejora el programa utilizando datos que puedan ayudar a la comodidad del usuario ya que no existe un solo valor de talla si no que puede variar algunos milímetros de un pie del otro o a su vez la forma del pie. También se puede evidenciar una talla no definida puesto que no existe horma con tales dimensiones.

Para poder saber si el sistema realizado es confiable se realizaron pruebas repetitivas a 3 usuarios lo cual se indica en la Tabla 5 cada uno de los usuarios se les escanea 5 veces el pie izquierdo mostrando los datos generados por sistema, esto ayuda a tener las medidas de la longitud del pie, ancho de dedos y entrada de pie o empeine para poder comprobar si el sistema posee o no algún error. Hay que recalcar que para este caso, solo se realizan las pruebas con 3 usuarios para determinar las características de operación del sistema.

**Tabla 5.**

**Descripción de las 5 pruebas del pie izquierdo de 3 usuarios.**

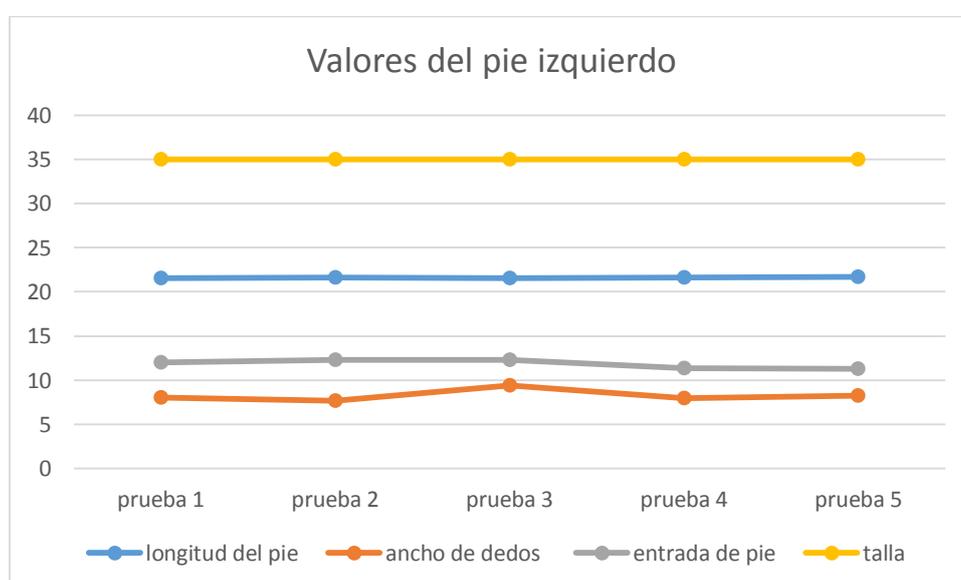
<b>PIE IZQUIERDO</b>						
<b>Usuario</b>	<b>Medida</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>
<b>USUARIO 1</b>	longitud del pie	21,56	21,64	21,53	21,65	21,68
	ancho de dedos	8,03	7,65	9,41	7,96	8,27
	entrada de pie	11,99	12,31	12,28	11,37	11,32
<b>USUARIO 2</b>	talla	35 A				
	longitud del pie	22,78	22,67	22,8	22,61	22,67
	ancho de dedos	9,99	9,87	9,61	9,49	10,59
<b>USUARIO 3</b>	entrada de pie	13,15	13,96	12,78	11,86	15,47
	talla	36 A				
	longitud del pie	23,66	23,64	23,77	23,58	23,66
	ancho de dedos	10,17	11,49	10,85	11,52	11,68
	entrada de pie	12,72	12,83	13,64	13,06	12,88

**CONTINÚA** 

	talla	38 B				
--	-------	------	------	------	------	------

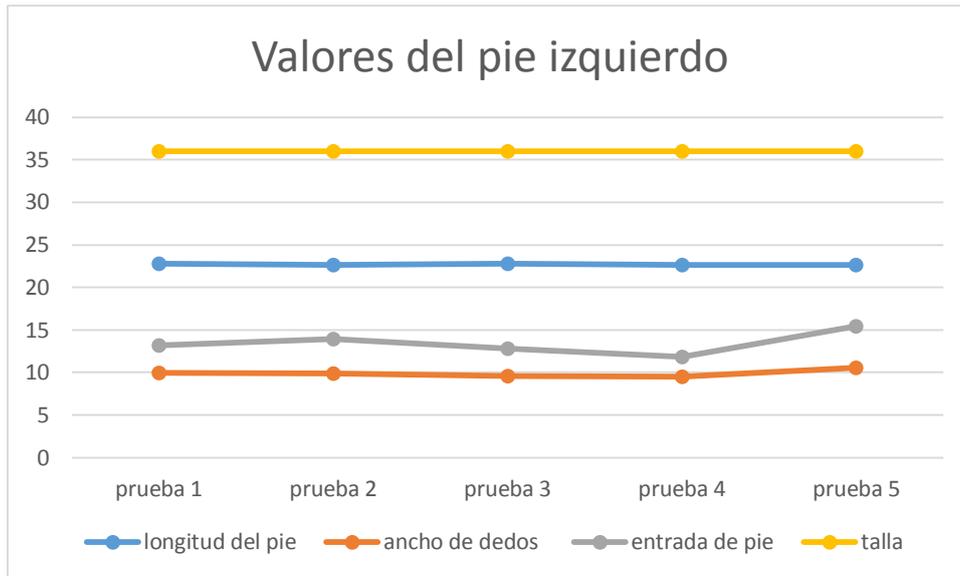
Como se muestra en la Tabla 5 los valores de las tres personas fueron escaneadas cinco veces, se procede a realizar una gráfica para poder observar la variación que presentan las medidas de cada uno de los usuarios.

En la Figura 57 se presentan los valores que se obtienen de las cinco medidas del pie izquierdo del usuario 1



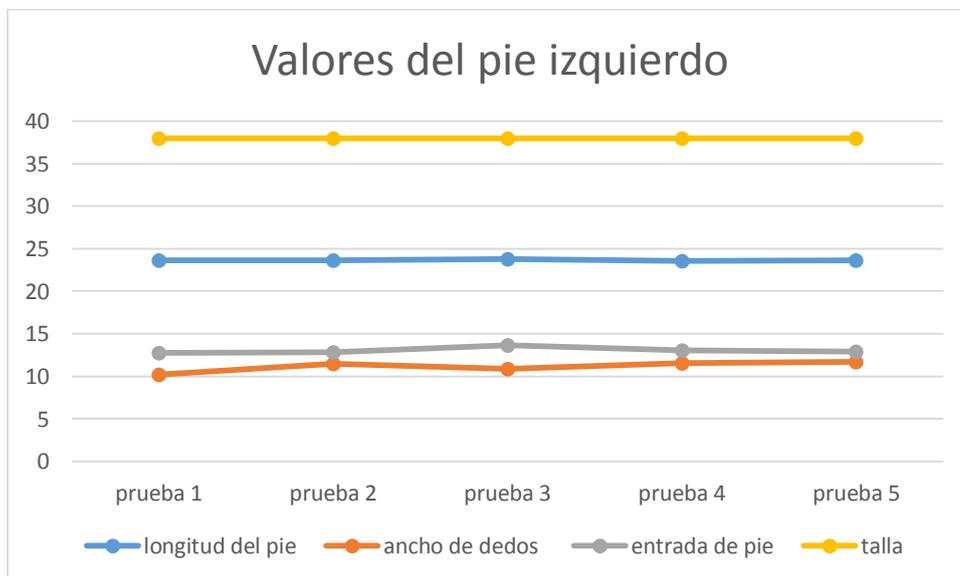
**Figura 57. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 1.**

En la Figura 58 se presentan los valores que se obtienen de las cinco medidas del pie izquierdo del usuario 2



**Figura 58. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 2.**

En la Figura 59 se presentan los valores que se obtienen de las cinco medidas del pie izquierdo del usuario 3



**Figura 59. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 3.**

Del mismo modo para determinar el funcionamiento del sistema, se realizaron las cinco pruebas al pie derecho de los tres usuarios anteriores, dándonos valores que se indican en la Tabla 6, teniendo la longitud del pie, ancho de dedos y entrada de pie o empeine teniéndose una pequeña diferencia en los valores obtenidos.

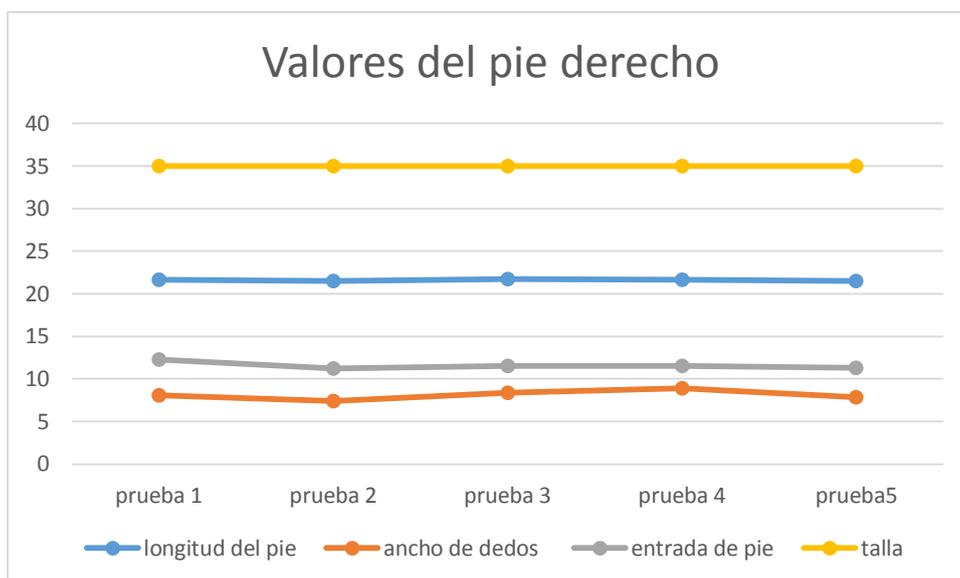
**Tabla 6.**

**Descripción de las 5 pruebas del pie derecho de 3 usuarios.**

PIE DERECHO						
USUARIO	Medida	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
USUARIO 1	longitud del pie	21,62	21,51	21,69	21,62	21,51
	ancho de dedos	8,09	7,42	8,35	8,87	7,82
	entrada de pie	12,24	11,21	11,55	11,5	11,31
USUARIO 2	Talla	35 A				
	longitud del pie	22,55	22,43	22,81	22,72	22,96
	ancho de dedos	9,47	9,12	9,47	9,19	8,89
USUARIO 3	entrada de pie	12,5	13,63	12,59	12,43	12,55
	Talla	36 A				
	longitud del pie	23,72	23,67	23,57	23,68	23,75
	ancho de dedos	10,04	9,25	10,46	10,55	10,21
	entrada de pie	13,18	12,57	12,69	13,35	12,92
	Talla	38 B				

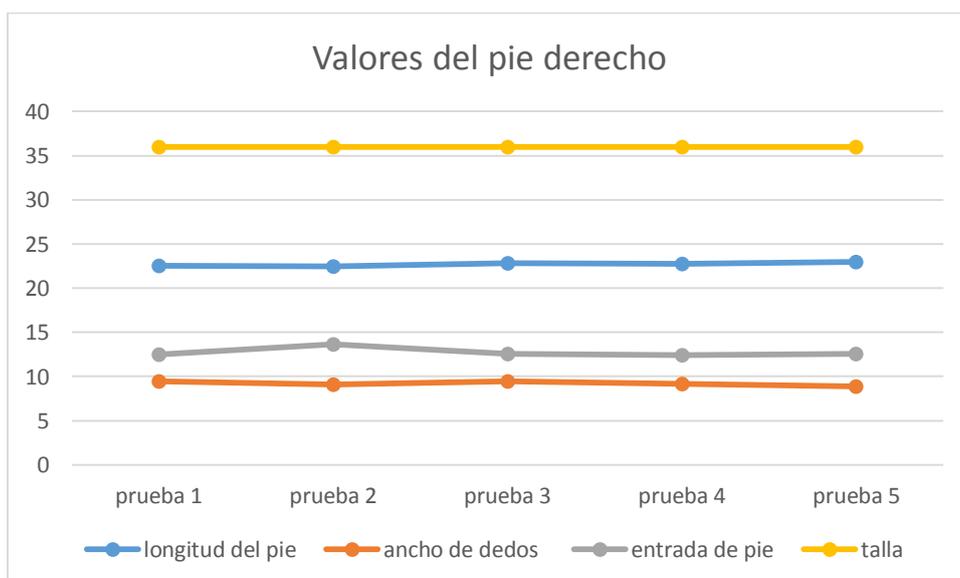
En la Tabla 6 se presentan los valores de las tres personas que fueron escaneadas cinco veces, con estos valores se procede a realizar una gráfica para poder observar la variación que presentan las medidas de cada uno de los usuarios.

En la Figura 60 se presentan los valores que se obtienen de las cinco medidas del pie derecho del usuario 1



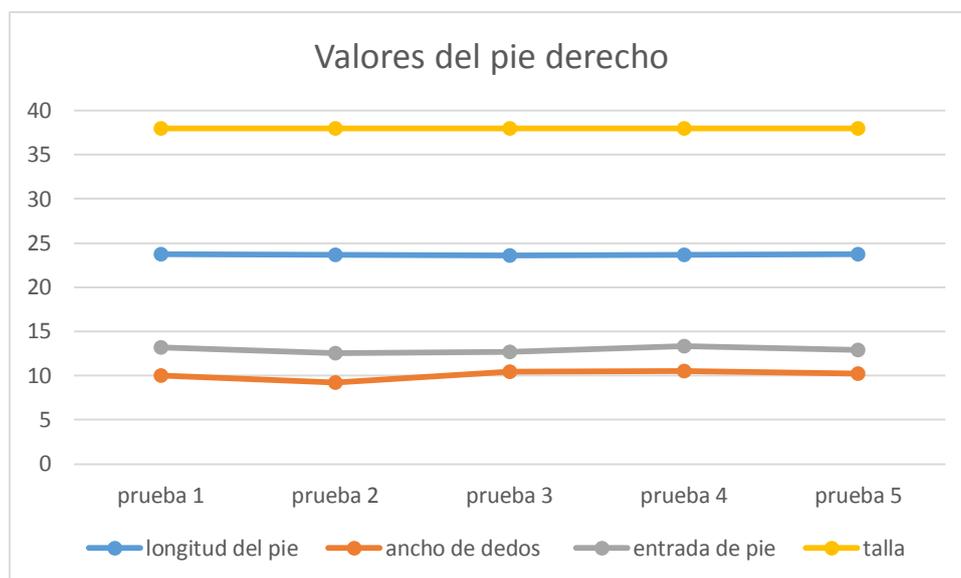
**Figura 60. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 3.**

En la Figura 61 se presentan los valores que se obtienen de las cinco medidas del pie derecho del usuario 2



**Figura 61. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 3.**

En la Figura 62 se presentan los valores que se obtienen de las cinco medidas del pie derecho del usuario 3



**Figura 62. Datos obtenidos de las cinco pruebas del usuario 3.**

### 4.3 Análisis de resultados.

Una vez realizadas las pruebas para determinar si el sistema funciona correctamente, se procede a realizar el análisis de resultados que se obtienen después del escaneo a las 52 personas, en esta sección se realiza la comparación entre los valores que arroja el sistema y los valores que se obtienen al medir el pie manualmente.

#### 4.3.1 análisis de los valores dados por el sistema y los valores obtenidos manualmente.

Para realizar el análisis de los resultados obtenidos, se procede a presentar los valores obtenidos por el sistema y comparando con los valores obtenidos manualmente. Es necesario aclarar que las medidas manuales se las hizo de forma tradicional, como se detalló en el capítulo 2. Al realizar una medida manual puede existir alguna variación en las dimensiones puesto que no es una medida garantizada o un patrón confiable por lo que los errores al medir son inevitables.

En la tabla 7 se presenta la comparación de las medidas obtenidas por el sistema y las medidas realizadas manualmente de los 52 usuarios que colaboraron en el desarrollo del proyecto de investigación.

**Tabla 7.**

**Comparación de los resultados de las medidas obtenidas.**

Número de usuarios	Datos del pie izquierdo.			Datos del pie derecho.		
	Talla dada por el sistema	Comprobación de los resultados	Talla obtenida manualmente	Talla dada por el sistema	Comprobación de los resultados	Talla obtenida manualmente
1.	31 B	Correcto	31 B	31 B	Correcto	31 B
2.	31 B	Correcto	31 B	31 B	Correcto	31 B
3.	31 B	Correcto	31 B	31 B	Correcto	31 B
4.	31,5 A	Correcto	31,5 A	31,5 A	Correcto	31,5 A
5.	32 A	Correcto	32 A	32 A	Correcto	32 A
6.	33 A	Correcto	33 A	33 A	Correcto	33 A
7.	33 A	Correcto	33 A	33 A	Correcto	33 A
8.	33 A	Correcto	33 A	33 A	Correcto	33 A
9.	33,5 B	Incorrecto	33,5 A	33,5 A	Correcto	33,5 A
10.	33,5 A	Correcto	33,5 A	33,5 A	Correcto	33,5 A
11.	33,5 A	Correcto	33,5 A	33,5 A	Correcto	33,5 A
12.	34 B	Correcto	34 B	34 B	Correcto	34 B
13.	34 B	Correcto	34 B	34 B	Correcto	34 B
14.	35 C	Correcto	35 C	35 C	Correcto	35 C
15.	35 C	Correcto	35 C	35 C	Correcto	35 C
16.	35 B	Correcto	35 B	35 B	Correcto	35 B
17.	35 D	Correcto	35 D	35 D	Correcto	35 D
18.	35 A	Correcto	35 A	35 A	Correcto	35 A
19.	35 A	Correcto	35 A	35 A	Correcto	35 A
20.	35 A	Correcto	35 A	35 A	Correcto	35 A

**CONTINÚA** 

21.	35 A	Correcto	35 A	35 A	Correcto	35 A
22.	35 A	Correcto	35 A	35 A	Correcto	35 A
23.	35,5 A	Correcto	35,5 A	35,5 A	Correcto	35,5 A
24.	36 A	Correcto	36 A	36 A	Correcto	36 A
25.	36 A	Correcto	36 A	36 A	Correcto	36 A
26.	36 A	Correcto	36 A	36 A	Correcto	36 A
27.	36 A	Correcto	36 A	36 A	Correcto	36 A
28.	36 A	Correcto	36 A	36 A	Correcto	36 A
29.	36 A	Correcto	36 A	36 A	Correcto	36 A
30.	36 A	Correcto	36 A	36 A	Correcto	36 A
31.	36 C	Correcto	36 C	36 C	Correcto	36 C
32.	36 A	Correcto	36 A	36 A	Correcto	36 A
33.	36 A	Correcto	36 A	36 A	Correcto	36 A
34.	36,5 A	Correcto	36,5 A	36,5 A	Correcto	36,5 A
35.	38 A	Correcto	38 A	38 A	Correcto	38 A
36.	38 D	Correcto	38 D	38 D	Correcto	38 D
37.	38 B	Correcto	38 B	38 B	Correcto	38 B
38.	38 B	Correcto	38 B	38 B	Correcto	38 B
39.	38 B	Correcto	38 B	38 B	Correcto	38 B
40.	38 B	Correcto	38 B	38 B	Correcto	38 B
41.	38 B	Correcto	38 B	38 B	Correcto	38 B
42.	39 A	Correcto	39 A	39 A	Correcto	39 A
43.	39 A	Correcto	39 A	39 A	Correcto	39 A
44.	39 A	Correcto	39 A	39 A	Correcto	39 A
45.	39 A	Correcto	39 A	39 A	Correcto	39 A
46.	40 B	Correcto	40 B	40 B	Correcto	40 B
47.	40 A	Correcto	40 A	40 A	Correcto	40 A
48.	41 B	Correcto	41 B	41 B	Correcto	41 B
49.	41 A	Correcto	41 A	41 A	Correcto	41 A
50.	42 A	Correcto	42 A	40,5 A	Incorrecto	42 A

**CONTINÚA** 

51.	42 A	Correcto	42 A	42 A	Correcto	42 A
52.	42,5	Correcto	42,5	42,5	Correcto	42,5

En la Tabla 7 se puede constatar las tallas de las personas, evidenciando que en el usuario 9 existe una variación de talla, teniendo en el pie izquierdo 33,5 B talla obtenida por el sistema escáner 3D, frente a 33 A que es la talla obtenida manualmente. También en el Usuario 50 se observa una variación de 2 tallas, porque el usuario presentó problemas de inestabilidad al momento de la adquisición de la imagen.

#### **4.4 Alcances y limitaciones.**

##### **4.4.1 Alcances**

El sistema diseñado determina si el Kinect es una cámara aceptable para el manejo de imagen tridimensional por la alta confiabilidad de la malla infrarroja, dando buenos resultados al generar sus medidas. A su vez, mediante el desarrollo de algoritmos se obtienen las dimensiones de los pies, siendo constatados tallas desde la 31 a la 42 por ser las medidas más requeridas por los usuarios analizados, de esta manera, mediante la interfaz gráfica se logra mostrar al usuario todos los datos necesarios, teniendo una base de datos donde se almacenan y registran las dimensiones de los pies.

##### **4.4.2 Limitaciones**

Es necesario indicar que el sistema consta de algunas restricciones, puesto que es una plataforma giratoria en la cual se puede utilizar los dos pies para el análisis pero en este proyecto se utiliza cada uno de los pies por separado para un mejor análisis de la horma del zapato de cada usuario. El uso de un solo pie provoca que la plataforma genere inestabilidad en edades tempranas y usuarios con alguna enfermedad motriz o personas con capacidades especiales, por estos motivos, el sistema se limita a ser utilizado por personas adultas, jóvenes y personas sin capacidades especiales.

#### 4.5 Comprobación de la hipótesis.

El planteamiento de la hipótesis para este proyecto de investigación se estableció de la siguiente manera:

La implementación del sistema escáner de pie con tecnología 3D, ¿permitirá analizar la horma del zapato adecuado para la adaptación ergonómica del deportista?

Una vez concluido el proyecto de investigación se consiguió obtener resultados que permiten establecer la comprobación de la hipótesis planteada.

Mediante la Tabla 8 se compara las tallas generadas por el sistema escáner de pie 3D con las tallas medidas en forma manual de los usuarios, de esta manera se aprecia las medidas correctas e incorrectas tanto del pie izquierdo como del pie derecho de la persona.

**Tabla 8.**

**Comprobación de las medidas del pie izquierdo obtenidas con el sistema escáner y las medidas manuales del usuario.**

Datos del pie izquierdo.			
Número de usuario	Talla dada por el sistema	Comprobación de los resultados	Talla medida manualmente
1	31 B	Correcto	31 B
2	31 B	Correcto	31 B
3	31 B	Correcto	31 B
4	31,5 A	Correcto	31,5 A
5	32 A	Correcto	32 A
6	33 A	Correcto	33 A
7	33 A	Correcto	33 A
8	33 A	Correcto	33 A
9	33,5 B	Incorrecto	33,5 A
10	33,5 A	Correcto	33,5 A
11	33,5 A	Correcto	33,5 A
12	34 B	Correcto	34 B
13	34 B	Correcto	34 B
14	35 C	Correcto	35 C

**CONTINÚA** 

15	35 C	Correcto	35 C
16	35 B	Correcto	35 B
17	35 D	Correcto	35 D
18	35 A	Correcto	35 A
19	35 A	Correcto	35 A
20	35 A	Correcto	35 A
21	35 A	Correcto	35 A
22	35 A	Correcto	35 A
23	35,5 A	Correcto	35,5 A
24	36 A	Correcto	36 A
25	36 A	Correcto	36 A
26	36 A	Correcto	36 A
27	36 A	Correcto	36 A
28	36 A	Correcto	36 A
29	36 A	Correcto	36 A
30	36 A	Correcto	36 A
31	36 C	Correcto	36 C
32	36 A	Correcto	36 A
33	36 A	Correcto	36 A
34	36,5 A	Correcto	36,5 A
35	38 A	Correcto	38 A
36	38 D	Correcto	38 D
37	38 B	Correcto	38 B
38	38 B	Correcto	38 B
39	38 B	Correcto	38 B
40	38 B	Correcto	38 B
41	38 B	Correcto	38 B
42	39 A	Correcto	39 A
43	39 A	Correcto	39 A
44	39 A	Correcto	39 A
45	39 A	Correcto	39 A
46	40 B	Correcto	40 B
47	40 A	Correcto	40 A
48	41 B	Correcto	41 B
49	41 A	Correcto	41 A
50	42 A	Correcto	42 A
51	42 A	Correcto	42 A
52	42,5	Correcto	42,5

Tabla 9.

**Comprobación de las medidas del pie derecho obtenidas con el sistema escáner y las medidas manuales del usuario.**

Datos del pie derecho.			
Número de usuarios	Talla dada por el sistema	Comprobación de los resultados	Talla medida manualmente
1	31 B	Correcto	31 B
2	31 B	Correcto	31 B
3	31 B	Correcto	31 B
4	31,5 A	Correcto	31,5 A
5	32 A	Correcto	32 A
6	33 A	Correcto	33 A
7	33 A	Correcto	33 A
8	33 A	Correcto	33 A
9	33,5 A	Correcto	33,5 A
10	33,5 A	Correcto	33,5 A
11	33,5 A	Correcto	33,5 A
12	34 B	Correcto	34 B
13	34 B	Correcto	34 B
14	35 C	Correcto	35 C
15	35 C	Correcto	35 C
16	35 B	Correcto	35 B
17	35 D	Correcto	35 D
18	35 A	Correcto	35 A
19	35 A	Correcto	35 A
20	35 A	Correcto	35 A
21	35 A	Correcto	35 A
22	35 A	Correcto	35 A
23	35,5 A	Correcto	35,5 A
24	36 A	Correcto	36 A
25	36 A	Correcto	36 A
26	36 A	Correcto	36 A
27	36 A	Correcto	36 A
28	36 A	Correcto	36 A
29	36 A	Correcto	36 A
30	36 A	Correcto	36 A
31	36 C	Correcto	36 C
32	36 A	Correcto	36 A
33	36 A	Correcto	36 A
34	36,5 A	Correcto	36,5 A
35	38 A	Correcto	38 A

**CONTINÚA** 

36	38 D	Correcto	38 D
37	38 B	Correcto	38 B
38	38 B	Correcto	38 B
39	38 B	Correcto	38 B
40	38 B	Correcto	38 B
41	38 B	Correcto	38 B
42	39 A	Correcto	39 A
43	39 A	Correcto	39 A
44	39 A	Correcto	39 A
45	39 A	Correcto	39 A
46	40 B	Correcto	40 B
47	40 A	Correcto	40 A
48	41 B	Correcto	41 B
49	41 A	Correcto	41 A
50	40,5 A	Incorrecto	42 A
51	42 A	Correcto	42 A
52	42,5	Correcto	42,5

En la Tabla 10 se presentan los escaneos realizados teniendo un total de 102 pruebas exitosas y 2 pruebas fallidas respectivamente. Lo que ayudará en los cálculos para la comprobación de la hipótesis.

**Tabla 10.**

**Descripción del número de pruebas exitosas y fallidas realizadas.**

Escaneo	Número de pruebas		Total
	Exitosas	Fallidas	
Pie Derecho	51	1	52
Pie Izquierdo	51	1	52
Total	102	2	104

En la Tabla 11 se presentan los resultados de los errores obtenidos al realizar el análisis comparativo entre el sistema de escáner 3D del pie y los valores constatados manualmente, se muestra la comprobación de la hipótesis mediante el cálculo del error.

**Tabla 11.****Cálculos de error de los valores obtenidos.**

<i>Valor de referencia</i>	<i>Valor aproximado</i>	<i>Error absoluto</i> <i>= valor aproximado</i> <i>– valor de referencia</i>	<i>Error relativo</i> <i>=</i> $\frac{\text{error absoluto}}{\text{valor de referencia}}$	<i>Error relativo %</i> <i>= error relativo x100</i>
<b>104</b>	102	$ 102 - 104  = 2$	$\frac{2}{104} = 0,0192$	1,92%

El nivel de confianza para que un sistema sea aceptado comúnmente es del 95%, esto quiere decir que el margen de error porcentual debe ser menor al 5% lo cual hace que un sistema sea estadísticamente aceptable. (Salinas, 2016)

Mediante los cálculos que se obtiene entre los valores de referencia y los generados por el sistema, se tiene un error del 1,92%, por lo cual se puede deducir que el sistema si permitirá analizar la horma del zapato adecuado para la adaptación ergonómica del deportista,

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones.

El Sistema escáner de pie con tecnología 3D para la adaptación ergonómica del deportista presenta excelentes resultados ya que al determinar las dimensiones de los pies de una persona se puede obtener medidas más reales por las ventajas frente a la toma de medidas tradicionales con un sistema manual.

Con la implementación de este proyecto se logró verificar la hipótesis, ya que se realizó un sistema visual HMI utilizando el software libre para el análisis de las dimensiones de la horma de zapato para la adaptación ergonómica del deportista.

El sensor de Microsoft Kinect (Xbox 360) proporciona imágenes bastantes fiables en tres dimensiones siempre y cuando factores de luminosidad externos no afecten a la recepción de la imagen, por falta de reflexión de la malla de puntos de infrarrojo; por lo cual, si no presenta ninguna perturbación, el dispositivo muestra una salida muy confiable.

Microsoft Kinect (Xbox 360) y Software Skanect captan imágenes de partes del cuerpo humano sin importar su forma, puede ser de la cabeza, brazos, piernas y u otras, en este caso se escaneó el pie humano, teniendo imágenes aceptables para el desarrollo del sistema.

El escaneo del pie en 3D requiere ser realizado sin movimientos de la persona al momento del escaneo, esto dará mayor fiabilidad en la adquisición de la imagen.

Para el análisis de las dimensiones del pie, la imagen requerida por el software Python debe estar en nube de puntos xyz, y así obtener medias para la

comparación de una horma de zapato para la adaptación ergonómica del deportista.

El cálculo de las dimensiones de pie utilizando la interface gráfica HMI se tarda un promedio de 20 segundos, por la obtención de la imagen del pie en 3D debido a las características propias del computador que requiere un elevado nivel de procesamiento.

El pie es detectado dependiendo de la profundidad o distancia en la que se encuentre operando la cámara de Microsoft Kinect (Xbox 360), para ello se especificó la posición y las medidas en las cuales es más eficiente la detección y la adquisición de la imagen del pie.

La utilización del software Python por sus diversas prestaciones y al ser un software libre, permite la realización del procesamiento de imágenes en forma tridimensional y el desarrollo de su interfaz gráfica.

La alineación de la imagen tridimensional con respecto a los planos XY, YZ y XZ, permite analizar las diferentes dimensiones del pie en cada una de las proyecciones utilizando cada una de estas secciones para su análisis.

Mediante el producto cruz se determina la dirección de rotación de los puntos de la imagen tridimensional, y con la ayuda de la ecuación de rotación se mueve a la nube puntos de la imagen, para su orientación en los diferentes planos analizados.

La imagen escaneada del pie es analizada en base a las dimensiones estimadas de la horma de calzado de una persona, aproximadamente desde la talla 31 hasta la talla 42 que son medidas más comunes en el ámbito deportivo.

Al realizar el análisis de las medidas con una base de datos existente, se logró establecer tallas de calzado de diferentes dimensiones de hormas, así como también de diferentes fabricantes, con el fin de adquirir una base de datos unisex

para las correspondientes comparaciones de las dimensiones automáticas con las manuales.

El proyecto desarrollado cumple con los requerimientos establecidos para el análisis de la horma de zapato adecuado para la adaptación ergonomía del deportista teniendo una alta confiabilidad al momento de determinar las medidas de los pies mediante el sistema escáner con tecnología 3D.

## **5.2 Recomendaciones.**

Al momento del proceso de escaneo, el usuario debe sujetarse moderadamente de la máquina giratoria, tratando de provocar el menor movimiento posible para no tener fallas en la adquisición de la imagen escaneada 3D.

Para el respectivo escaneo, el pie se debe ubicar en la parte central de la base giratoria esto dará mayor efectividad al momento de la adquisición de la imagen en 3D.

Es recomendable configurar el software de programación con sus librerías respectivas de Python antes de programar.

La ubicación de la cámara de Microsoft Kinect (Xbox 360) se la debe colocar sin ángulo de inclinación por lo que la base giratoria está en una altura predeterminada para no tener errores al analizar las dimensiones de la horma de zapato.

Al momento de realizar el escaneo 3D es recomendable utilizar un calcetín o media, puesto que al utilizar un calzado casi siempre se lo realiza utilizando este tipo de prendas.

Debido a que se utiliza una máquina giratoria, es recomendable que en el momento del escaneo no existan interrupciones al momento de adquirir la imagen en el software Skanect, esta situación hará que se pierdan datos y la

imagen no será confiable para el análisis de la determinación de las medidas de la horma del calzado.

Es Recomendable el uso de un computador con un procesador de alta velocidad que permita el procesamiento de imágenes en 3D de manera más rápida, evitando retardos al momento de adquirir las dimensiones del pie escaneado.

Se debe trabajar en Ambientes Internos ya que el sistema funciona con normalidad y presenta una gran efectividad, no es recomendable trabajar en ambiente externos ya que el alto nivel de luz solar afecta al sensor y a la malla infrarroja, por lo que se podría obtener imágenes defectuosas por las características que presenta la cámara de Microsoft Kinect (Xbox 360).

Es recomendable para futuros proyectos realizar un control automático para el escaneo, ya que por el momento se estableció un encendido y apagado manual al momento de comenzar adquirir las imágenes de los usuarios.

En proyectos futuros se recomienda realizar un proceso más estable al momento del escaneo mediante la automatización de la máquina giratoria y con un escáner de mayores prestaciones.

Se recomienda utilizar una máquina de impresión en 3D con las medidas obtenidas en este proyecto, esto ayudará a las obtenciones de las hormas de zapato personalizadas por los usuarios, dando mayor comodidad al momento de adquirir un calzado deportivo.

Es necesario realizar un mantenimiento preventivo, puesto que es una plataforma giratoria y el uso del motor, constantemente provocará alteraciones mecánicas, obteniendo errores al momento de adquirir la imagen.

Se recomienda llevar un registro del número de usuarios escaneados para realizar un mantenimiento correctivo a la plataforma giratoria, dentro de un tiempo adecuado para no tener percances al momento de su funcionamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anatomía Fácil*. (2016). Recuperado el: 30 de Julio del 2016. Obtenido de <https://sites.google.com/site/anatomiafacil33/system/app/pages/sitemap/hierarchy>
- Argón, Z. (30 de Diciembre de 2016). *Zapaton Argón*. Recuperado el: 01 de Agosto del 2016. Obtenido de <http://www.zapatosaragon.com/como-saber-cual-es-mi-talla/>
- Arroyo, C. (14 de Diciembre de 2016). *Tu Vista Sana*. Recuperado el: 01 de Agosto del 2016 Obtenido de <http://tuvistasana.com/ninos/vision-binocular-estereopsis/>
- Casanova, A. A. (20 de Diciembre de 2016). *Psicología de la percepción visual*. Recuperado el: 10 de Agosto del 2016 .Obtenido de <http://www.ub.edu/pa1/node/panum>
- Correr Descalzos*. (2016). Recuperado el: 10 de Agosto del 2016. Obtenido de <http://www.correrdescalzos.es/anatomia-basica-del-pie/>
- Delcam. (Abril de 2001). Automatización del modelado de hormas a partir de la captura digitalizada en 3d de las características antropométricas del pie en una población aleatoria de individuos. España. Recuperado el: 05 de Septiembre del 2016. Obtenido de [http://www.solucionesantropometricas.com/pdfs/dossiers/dos\\_horma.pdf](http://www.solucionesantropometricas.com/pdfs/dossiers/dos_horma.pdf)
- España, S. M. (2016). *Sensor Medica* . Recuperado el: 05 de Septiembre del 2016. Obtenido de <http://escaner/SensorMedica%20Espa%C3%B1a%20-%20Esc%C3%A1ner%20D%20y%203D.html>
- F. Fernández Serrano, E. M. (2002). *Traumatología y medicina deportiva*. España: Thomson .
- Hunt, G. (2013). *Fisioterapia del pie y del tobillo*. Barcelona: Bigsa.
- Idoneos*. (2016). Recuperado el: 12 de Octubre del 2016. Obtenido de [http://ropa.idoneos.com/calzado\\_deportivo/](http://ropa.idoneos.com/calzado_deportivo/)
- Izquierdo, L. (19 de Septiembre de 2014). *Sistemas de Referencia 2D y 3D*. Recuperado el: 18 de Octubre del 2016. Obtenido de <https://prezi.com/gjo9qgbw4fmh/sistemas-de-referencia-2d-y-3d/>
- López, E. (18 de Junio de 2015). *Ophtalmos*. Recuperado el: 25 de Octubre del 2016. Obtenido de <http://www.ophtalmos.es/estereopsis-y-terapia-visual/>
- López, J. (25 de Enero de 2014). *Sportadictos*. Recuperado el: 10 de Noviembre del 2016. Obtenido de <https://sportadictos.com/2014/01/ergonomia-del-deporte>
- Mazuelas, M. J. (10 de Mayo de 2013). *La salud eres tú*. Recuperado el: 10 de Noviembre del 2016. Obtenido de <https://elretoerestu.com/tag/propulsion/>
- Melis, J. O. (Marzo de 2010). *Tesis Doctoral*. Recuperado el: 12 de Noviembre del 2016. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7730/tesisUPV3241.pdf>
- MESHLAB. (05 de Febrero de 2017). *MESHLAB*. Recuperado el: 12 de Diciembre del 2016. Obtenido de <http://www.meshlab.net/#description>

- Paca, L. G. (Marzo de 2014). *Biblioteca Escuela Politécnica Nacional*. Recuperado el: 18 de Diciembre del 2016. Obtenido de [http://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=12510&shelfbrowse\\_itemnumber=12904#holdings](http://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=12510&shelfbrowse_itemnumber=12904#holdings)
- Pinochet, R. (2016). *Centro Quiropráctico*. Recuperado el: 10 de Enero del 2017. Obtenido de <http://www.rodriropinochet.cl/laboratorio-bioregulador/escaner-de-pie-3d/>
- PYTHON. (02 de Febrero de 2017). *PYTHON*. Recuperado el: 10 de Enero del 2017. Obtenido de <https://www.python.org/downloads/>
- Ramos, D. (18 de Septiembre de 2013). *Estudi cinemático del cuerpo humano mediante kinect*. Recuperado el: 12 de Enero del 2017. Obtenido de [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37564153/PFC\\_DANIEL\\_RAMOS\\_GUTIERREZ.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1486039691&Signature=ss2t842RN%2FjrvnVVCgGtYk3thKA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPrincipal\\_Servidor](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37564153/PFC_DANIEL_RAMOS_GUTIERREZ.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1486039691&Signature=ss2t842RN%2FjrvnVVCgGtYk3thKA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPrincipal_Servidor)
- Red21. (24 de Diciembre de 2016). Recuperado el: 12 de Enero del 2017. Obtenido de <http://www.red21.es/es/digipie/>
- Revistatope. (24 de Enero de 2017). *Las ventajas de la visión 3D*. Recuperado el: 20 de Enero del 2017. Obtenido de [http://www.revistatope.com/159\\_art\\_3D\\_Identificacion.html](http://www.revistatope.com/159_art_3D_Identificacion.html)
- Salinas, J. M. (2016). *Análisis de datos*. Recuperado el: 20 de Mayo del 2017. Obtenido de UGR: <http://www.ugr.es/~jsalinas/apuntes/C12.pdf>
- Serjio Cuellar, C. M. (Septiembre de 2014). *Industria y Comercio de Superintendencia*. Recuperado el: 20 de Enero del 2017. Obtenido de [http://www.ibepi.org/wp-content/uploads/2014/12/Boletin\\_calzado.pdf](http://www.ibepi.org/wp-content/uploads/2014/12/Boletin_calzado.pdf)
- Skaneect. (01 de Febrero de 2017). *Skaneect*. Recuperado el: 20 de Enero del 2017. Obtenido de <http://skaneect.occipital.com/>
- The Luxonomist*. (05 de Mayo de 2014). Recuperado el: 12 de Febrero del 2017. Obtenido de <http://www.villaworking.com/PRUEBASWEBSVARIAS/2014/05/05/la-horma-de-tu-zapato/cristina-azpeitia>
- Valencia, I. d. (2016). Recuperado el: 12 de Febrero del 2017. Obtenido de <http://antropometria.ibv.org/es/laboratorio/escaner-de-pies.html>
- Vorum. (12 de Diciembre de 2016). *VORUM*. Recuperado el: 12 de Febrero del 2017. Obtenido de <http://vorum.com/es/footwear/yeti-3d-foot-scanner/>

# ANEXOS

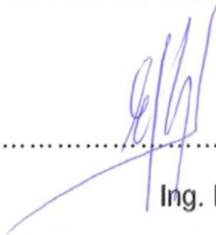


**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICACIÓN**

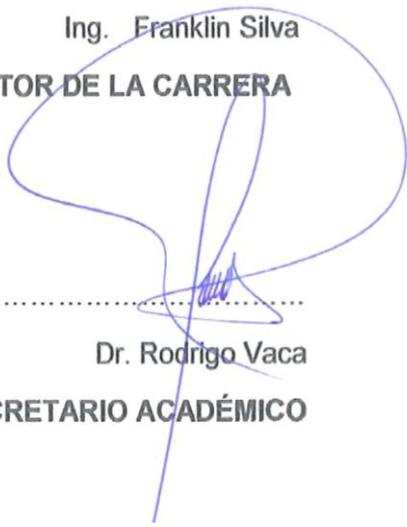
Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: LUIS ANDRÉS TIPÁN GUAMÁN Y DANILO RAÚL TOAPANTA MORA.

En la ciudad de Latacunga a los 12 días del mes de Junio de 2017.

  
.....  
Ing. Eddie Galarza  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Aprobado por:

  
.....  
Ing. Franklin Silva  
**DIRECTOR DE LA CARRERA**

  
.....  
Dr. Rodrigo Vaca  
**SECRETARIO ACADÉMICO**