

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Reconstrucción 3D mediante sensor de infrarrojos para la medición del volumen del brazo en pacientes con linfedema.



Máster Universitario en
Ingeniería Biomédica

Trabajo Fin de Máster

BERTA REMÍREZ MORENO

ALICIA MARTÍNEZ RAMÍREZ

Pamplona, Junio 2018



**RECONSTRUCCIÓN 3D MEDIANTE SENSOR DE INFRARROJOS
PARA LA MEDICIÓN DEL VOLUMEN DEL BRAZO EN PACIENTES
CON LINFEDEMA.**

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Autora: Berta Remírez Moreno
Tutora: Alicia Martínez Ramírez

Departamento de Matemáticas
Universidad Pública de Navarra

Junio de 2018

Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar mi tutora a Alicia Martínez por darme el apoyo necesario para la realización de este proyecto y su ayuda siempre que la he necesitado al igual que a Marisol Gómez que también propuso este proyecto en clase y me dio la oportunidad de hacerlo.

A Itziar por su ayuda a la hora de realizar diferentes pruebas y en la sesión de medida en el hospital y ser la modelo en todas las imágenes.

A Movalsys S.L. por haberme tratado como una más.

A las médicas Irene Aguirre y Claudia Villanueva, por su interés e ilusión por el proyecto.

A las pacientes, por su colaboración desinteresada.

A mi familia por su apoyo incondicional, y en especial a mi tío por hacer la estructura.

Abstract

Abstract — Arm lymphedema affects thousands of people and it is necessary to control the volume to verify that there is no fluid retention. To do this, the volume of the not operated arm is compared with the volume of the operated arm. The most widespread method is the perimeter measurements of the arm with a tape measure.

The aim of this work is the development of a measurement system for the volume of the upper limb based on an infrared sensor capable of reconstructing objects in 3D.

To validate the system, a study has been carried out with 16 patients with lymphedema comparing both measurement methods. The results show that both methods are highly correlated and do not have significant differences between them.

This system provides an objective and accurate data in a quick way and, therefore, reduces the patient waiting and consultation time.

Key words — Depth camera, Kinect, Volume, Lymphedema.

Resumen

Resumen — El linfedema del brazo afecta a miles de personas y es necesario controlar el volumen de éste para comprobar que no haya retención de líquidos. Para esto, se compara el volumen del brazo sin operar con el volumen del brazo operado. El método más extendido, son las medias perimetrales del brazo con una cinta métrica.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un sistema de medida del volumen de la extremidad superior basado en sensor de infrarrojos capaz de reconstruir objetos en 3D.

Para la validación del sistema se ha realizado un estudio con 16 pacientes con linfedema comparando ambos métodos de medida. Los resultados muestran que no hay diferencias significativas entre ambos métodos y que los dos métodos están correlados significativamente.

Este sistema supone una forma de obtener datos objetivos y precisos, de una forma rápida y así reducir el tiempo de consulta de los pacientes.

Palabras clave — Cámara profundidad, Kinect, Volumen, Linfedema.

Índice general

1. Introducción	3
1.1. Objetivo	5
1.2. Estructura del documento	5
2. Sistemas de medida	7
2.1. Sistemas de medida del linfedema	8
2.1.1. Circometría o medidas perimetrales	8
2.1.2. Volumetría	9
2.1.3. Bioimpedancia	11
2.1.4. Tonometría	11
3. Metodología	13
3.1. Sujetos	14
3.2. Protocolo clínico	14
3.3. Sistema de medida mediante sensor de infrarrojos	15
3.3.1. Kinect	16
3.3.2. Estructura giratoria	19
3.3.3. Software de cálculo de volumen	21
3.4. Procedimiento de medida	23
3.4.1. Protocolo de medida	23
3.4.2. Set-up de medida	23
3.4.3. Captura de datos	25
3.4.4. 3D Scan	25

ÍNDICE GENERAL

3.4.5. 3D Builder	26
3.4.6. Software Volumen	29
3.4.7. Restricciones	32
3.4.8. Análisis Estadístico	33
4. Resultados y análisis	35
4.1. Resultados	36
4.1.1. Medidas perimétrales	36
4.1.2. Método Sensor Infrarrojos	37
4.2. Análisis de Resultados	38
5. Conclusiones y líneas futuras	41
Bibliografía	43

Índice de tablas

3.1. Tabla Características Kinect V2 [14]	18
3.2. Ejemplo de datos guardados en un Excel	31
4.1. Resultados medidas perimetales: descripción...P: paciente; V: volumen	36
4.2. Resultados método sensor infrarrojos	37
4.3. Diferencia de volúmenes de ambos métodos	39

Índice de figuras

2.1. Sistema de medida mediante una cinta métrica [4]	8
3.1. Medidas perimétricas	15
3.2. Esquema general del sistema propuesto	15
3.3. Sensor Kinect v2 [10]	16
3.4. Conexión de la Kinect con el ordenador [11]	17
3.5. ToF operating principle.	18
3.6. Estructura con sus medidas	19
3.7. Estructura	20
3.8. Interfaz	21
3.9. Interfaz de cálculo de volumen	22
3.10. Colocación de la mano	23
3.11. Lugar de colocación de la cinta	24
3.12. Obtención del objeto en 3D	25
3.13. 3D Scan	26
3.14. Visualizado del objeto con 3D Builder	27
3.15. Visualizado del brazo con 3D Builder	28
3.16. Visualizado del objeto final con 3D Builder	28
3.17. Objeto cargado en la interfaz	29
3.18. Triángulos o caras para representar el objeto	30
3.19. Volumen calculado	31

3.20. Histórico del volumen	32
3.21. Ejemplos de mala reconstrucción debido a la luz	33
4.1. Diferencia de volúmenes de ambos métodos	38
5.1. Kinect Azure	42

1

Introducción

El linfedema se define como un aumento anormal de líquido, rico en proteínas, en el espacio intersticial, debido a una alteración en la capacidad de transporte del sistema linfático, que se manifiesta con un aumento del tamaño o hinchazón de una extremidad o región del cuerpo [1].

Según el Capítulo Español de Flebología y Linfología más de 900.000 personas en España padecen esta enfermedad y cada año a raíz del cáncer de mama 3.000 mujeres lo desarrollan [2].

En países desarrollados, la principal causa de linfedema son las neoplasias, sus complicaciones y el propio tratamiento de radioterapia [3], que provoca lesiones en los ganglios linfáticos [1]. El más frecuente es el linfedema secundario en extremidad superior debido al cáncer de

mama [1][3]. Se estima que estos pacientes tienen una frecuencia de desarrollo del 6% al 30% [1].

El linfedema puede aparecer en el postoperatorio inmediato, o bien meses o años después, evolucionando hacia la resolución o persistiendo en el tiempo[1]. Los datos sobre la incidencia y la prevalencia de esta enfermedad no son homogéneos, esto es debido a la diferencia de los distintos criterios diagnósticos o las formas de medir [3].

El diagnóstico del linfedema es clínico y el aumento del volumen del miembro es un aspecto fundamental. Pero la determinación del tamaño del miembro ofrece dificultades [4]. Últimamente, el desarrollo de un linfedema secundario tiende a disminuir gracias a [3] : diagnósticos y tratamientos precoces, mejor control de las técnicas y dosimetría de la radioterapia y la realización de la técnica del ganglio centinela.

El linfedema es considerado como una enfermedad crónica [3]. Esta enfermedad puede causar [5] : disconfort en el miembro afectado, limitación articular, dolor y decoloración de la piel, ansiedad y depresión.

Se necesitan medidas previas y si éstas no existen, se requiere la comparación con el miembro contra-lateral, aunque puede ocasionar problemas diagnósticos y de valoración evolutiva en linfedemas bilaterales [4]. Otro problema consiste en establecer los límites a partir de los cuales se considera que existe un linfedema [4].

Para estas medidas existen varios métodos, unos más populares que otros. Los métodos más extendidos en la clínica son las medidas perimetales del brazo y el desplazamiento de agua que produce este al introducirlo en un recipiente.

Las ventajas de las medidas perimetales es que es un método fácilmente disponible, pero tiene varios inconvenientes como la duración, el número de medidas no está estandarizado y puede haber errores derivados de la tensión de la cinta o de su grosor. El desplazamiento de agua tiene como ventajas que es un método muy fiable y tiene una alta sensibilidad pero como contrapunto es un método caro, está contraindicado en heridas abiertas, no es portátil y no existe consenso hasta dónde hay que introducir el brazo.

1.1. Objetivo

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de medida del volumen del brazo utilizando un sensor de infrarrojos tipo Kinect. Con este dispositivo se pretende cubrir la necesidad de medir el volumen de las extremidades en pacientes con linfedema de una forma rápida y fiable.

Por otra parte se pretende comparar en términos de sencillez y precisión los distintos métodos para obtener el volumen del brazo (circometría). Una mejora en la rapidez y precisión en la medida del linfedema repercutirá en la calidad de vida de miles de personas y reducirá el tiempo de consulta, ahorrando costes en el sistema sanitario.

1.2. Estructura del documento

El documento consta de los siguientes capítulos:

- **CAPÍTULO 1:** Introducción. Se realiza una introducción sobre la enfermedad de linfedema y los sistemas de medida que se utilizan en la práctica clínica. Se detalla también el objetivo de este proyecto.
- **CAPÍTULO 2:** Sistemas de medida. Se detalla el estudio realizado sobre los sistemas de medida disponibles.
- **CAPÍTULO 3:** Metodología. Se describe cada uno de los componentes que forman parte del sistema de medición, así como el procesado posterior de los datos para obtener el volumen del brazo.
- **CAPÍTULO 4:** Resultados. Se detallan los resultados de las medidas de diferentes brazos para la validación del método.
- **CAPÍTULO 5:** Conclusiones. Se resumen las cuestiones principales del proyecto.

2

Sistemas de medida

En la actualidad existen diferentes sistemas que permiten la medida del volumen de la extremidad, siendo unos más populares que otros. En este capítulo se detalla el estudio realizado sobre los sistemas de medida disponibles.

2.1. Sistemas de medida del linfedema

2.1.1. Circometría o medidas perimétrales

Este método consiste en tomar una serie de medidas perimétrales en varios puntos a lo largo de la extremidad mediante una cinta métrica [4]. Es la forma más extendida y eficiente a nivel clínico, invirtiendo más de 4 minutos por paciente en realizar la medición (ver Figura 2.1).

En la literatura se ha encontrado que existen metodologías que difieren en el número de puntos y dónde colocarlos. Por ejemplo, Mortimer et al [4] miden cada cuatro centímetros a lo largo de toda la extremidad. En otro estudio Acebes et al [6], realizaban la medida en cuatro puntos a lo largo del brazo.



Figura 2.1: Sistema de medida mediante una cinta métrica [4]

No todas las veces que se realiza la medida se incluye la mano, pero cuando se incluye, se comienza detrás de las metacarpofalángicas como hacen Acebes et al, para evitar el sesgo de medición por posibles artropatías [4].

Realizar mediciones en pocos puntos puede resultar en que hasta los linfedemas moderados, no sean diagnosticados dando lugar a falsos negativos [4].

La utilización de referencias óseas para los puntos de medición hace que las medidas sean más exactas y se puedan comparar entre diferentes medidas [4].

A la hora de diagnosticar un linfedema se considera por consenso un resultado positivo que la diferencia entre miembro superior afecto y sano sea de 2 centímetros [4].

2.1.2. Volumetría

Para calcular el volumen se puede realizar de dos formas, indirectamente a partir de las medidas perimetricas obtenidas con el método anterior o de forma directa mediante dos métodos: la técnica de desplazamiento de agua o utilizando dispositivos optoelectrónicos. Estas dos medidas se consideran las técnicas "Gold Standard." en la medición del linfedema [4].

Para obtener un diagnostico positivo de esta enfermedad a partir del volumen debe haber una diferencia, entre el miembro afecto y el sano, de 150-400 ml [7].

Indirecta

Como ya se ha comentado la volumetría indirecta se realiza a partir de las medidas perimetricas realizadas en diferentes puntos de la extremidad. Se calcula el volumen de cada segmento y se suman para obtener el volumen total estimado. Los dos modelos más utilizados a la hora de realizar este cálculo son el del cilindro y el de cono truncado [4].

En la mayor parte de los ensayos, los autores utilizan el modelo del cono truncado. Es el más adecuado considerando la anatomía del miembro superior. La fórmula es la siguiente 2.1 (Fórmula del cono truncado) [4] :

$$V = \frac{h \cdot (C1^2 + C1C2 + C2^2)}{12\pi} \quad (2.1)$$

Donde h es la longitud del segmento medido y C1 y C2 son los perímetros proximal y distal.

Directa: Desplazamiento de agua

Esta técnica se basa en el principio de Arquímedes, en el que todo objeto introducido parcial o completamente en un fluido estático experimenta una fuerza de empuje igual al peso del fluido desplazado.

De esta forma, se pide al paciente que introduzca la extremidad pertinente en un recipiente y se calcula la diferencia entre los niveles iniciales y finales del líquido.

Los datos de variabilidad intraobservador e interobservador indican que un incremento o una disminución del 3 % con respecto al miembro de control puede considerarse un cambio real del volumen en la valoración evolutiva del linfedema [4].

Es un método que tiene ciertos inconvenientes, como la necesidad de cambiar el agua cada vez que es usada por un paciente. Además, este método no se puede utilizar cuando hay heridas abiertas (por ejemplo, un eczema) y no se ha llegado a un acuerdo de hasta dónde hay que introducir la extremidad superior [4].

Directa: Volumetría optoelectrónica

En esta técnica, se usa un escáner electrónico óptico infrarrojo para calcular el volumen del brazo afectado. Con el miembro en el centro del marco, el escáner se desplaza desde la muñeca hasta el brazo y luego en sentido contrario. Con ello se dibuja la sombra del miembro en dos planos, a partir de la cual se obtiene su silueta. Los cálculos volumétricos, realizados a partir de los diámetros, se basan en la asunción de secciones transversales circulares o elípticas [4].

Sus resultados parecen muy fiables, siendo el único método de medición en el que no existen prácticamente diferencias entre la variabilidad interobservador e intraobservador. Muestra además una fuerte correlación con el desplazamiento de agua [4].

Pero también tiene ciertos inconvenientes, como que la extremidad debe mantenerse en alto, apoyando la mano sobre un soporte, lo que hace difícil obtener medidas cuando existen

limitaciones articulares o mantener el miembro estable durante la exploración. Tiene otro inconveniente y es que en muchos casos el escáner no puede valorar de forma adecuada el edema del brazo o del muslo ya que el marco es estrecho y el aparato sólo puede medir una longitud de 40 cm [4].

2.1.3. Bioimpedancia

En lugar de medir el volumen del brazo, lo que se consigue con el análisis de bioimpedancia es detectar la cantidad de líquido en el brazo. Para ello, la bioimpedancia se basa en la medición de la resistencia del organismo al paso de una corriente de baja intensidad [4]. Las medidas se toman a lo largo de todo el miembro superior. Cuanto mayor es el contenido de líquido, menor es la resistencia. A pesar de no calcular el volumen directamente, este método es útil en la detección precoz del linfedema, cuando los síntomas no se han manifestado [4][8]. Se trata de un método caro, no solo por el coste sino porque se necesita un operador para el procesado de los datos y para el cálculo de la curva [4].

2.1.4. Tonometría

Esta técnica intenta medir la resistencia de los tejidos a la compresión, pudiendo identificar cúmulos de líquido o fibrosis tisular [4]. Utilizando el dispositivo adecuado, se presiona sobre la piel para medir la cantidad de fuerza que se necesita para hacer una hendidura en el tejido [4].

Esta medida ayuda a saber el nivel de firmeza o fibrosis (cicatrización del tejido) debajo de la piel, lo que significa un empeoramiento del linfedema [8].

Se trata también de un método que realiza una comparación del miembro afecto con el sano. El procedimiento no está estandarizado. La precisión del método puede variar dependiendo del médico que la realice. Los tonómetros electrónicos más modernos proporcionan lecturas digitales [4].

CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE MEDIDA

Los estudios comparativos más recientes arrojan resultados contradictorios considerándolo un método útil, aunque con menor fiabilidad que la bioimpedancia [4].

3

Metodología

En este capítulo se detalla la metodología empleada para el diseño del sistema. Se describe cada uno de los componentes que forman parte del sistema de medición, así como el procesamiento posterior de los datos para obtener el volumen del brazo (Matlab[®]). En el diseño interviene una cámara Kinect (Microsoft[®]) junto con una estructura para realizar el giro de la cámara alrededor de la extremidad. Los programas para procesar los datos que se han utilizado son: 3D Scan y 3D Builder de Windows[®] y una interfaz siguiendo las indicaciones del usuario final realizada en Matlab[®].

3.1. Sujetos

El estudio se ha realizado en colaboración del Servicio de Medicina Física y Rehabilitación del Complejo Hospitalario de Navarra (CHN). Para ello se contactó con 17 pacientes. El criterio de inclusión para llevar a cabo las medidas, fue no tener movilidad reducida de hombro ya que el sistema exige que la paciente mantenga el brazo recto y quieto durante la prueba (Figura 3.12).

La primera paciente no cumplía con el criterio de inclusión por lo que sus medidas no se han tenido en cuenta en el análisis de los resultados.

3.2. Protocolo clínico

Se realizaron las mediciones en el gimnasio del Servicio de Medicina Física y Rehabilitación. Para cada paciente, primero se hicieron las mediciones con el método que usan en la clínica, las medidas perimétrales. Para ello se realizaron 6 medidas (mano, muñeca, antebrazo, codo distal, codo proximal y brazo) cada 8 centímetros (ver Figura 3.1) en ambos brazos.

Con los datos obtenidos, mediante la ecuación del cono truncado (Ecuación 2.1), se calcularon cinco volúmenes consecutivos, siendo el volumen total la suma de los cinco anteriores.

De esta manera, para cada paciente se obtienen dos volúmenes, uno el del brazo afecto y otro el del sano. Así, se puede comprobar si existe o no linfedema, calculando la diferencia de volumen entre el miembro afecto y el sano siguiendo el criterio comentado en el capítulo anterior: una diferencia de 2-3 cm o una diferencia de 150-400 ml significa edema leve [7].

Este último parámetro será el que se utilice para realizar la validación entre los dos métodos.



Figura 3.1: Medidas perimetrales

3.3. Sistema de medida mediante sensor de infrarrojos

En la Figura 3.2 aparece representado un esquema general de la metodología empleada. El sensor de infrarrojos gira en torno al brazo, y se obtiene un modelo 3D con el programa 3D Scan. Posteriormente se visualiza y se recorta para calcular el volumen de la zona de interés con el programa 3D Builder. Ese modelo simplificado se integra en la interfaz, se calcula el volumen y se añade en un Excel relacionado con el número de historial del paciente en cuestión.

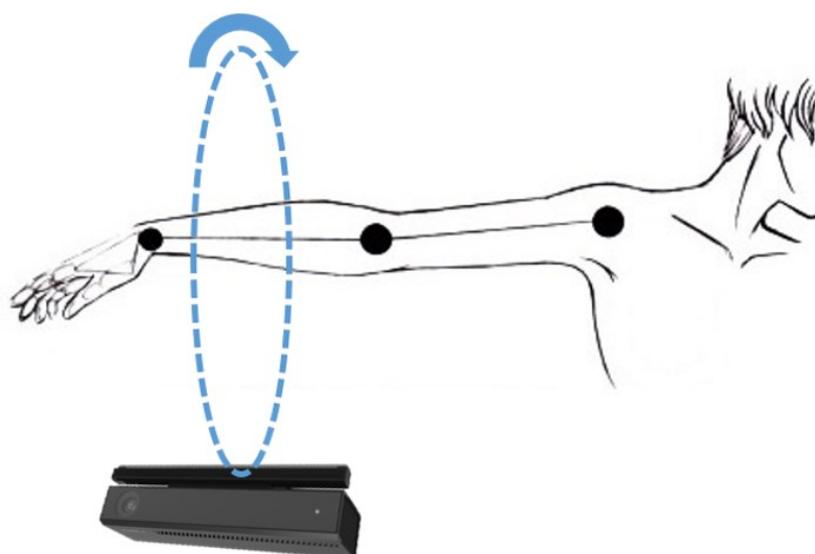


Figura 3.2: Esquema general del sistema propuesto

3.3.1. Kinect

Kinect es un dispositivo, desarrollado por Microsoft[®], que se incorpora a las consolas Xbox One para jugar de forma libre y sin mandos ya que reconoce gestos, comandos de voz, objetos e imágenes. Consta de dos cámaras, una cámara de color y una cámara de infrarrojos [9], también consta de un array de micrófonos. Estos tres elementos están colocados como se muestra en la Figura 3.3.

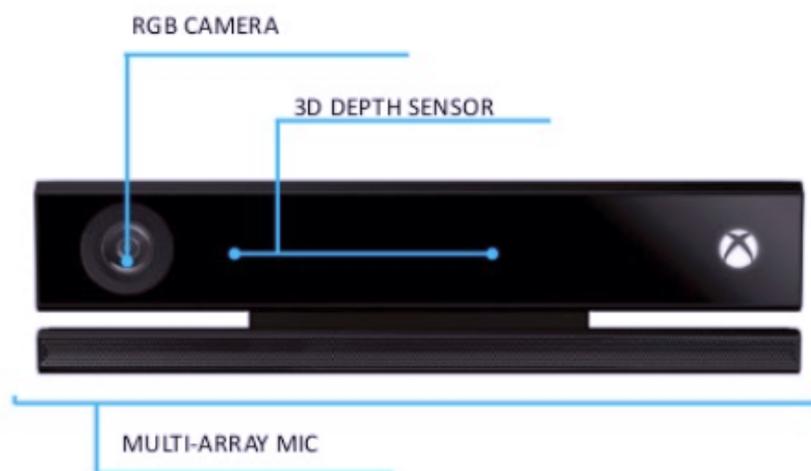


Figura 3.3: Sensor Kinect v2 [10]

El adaptador para poder conectar la Kinect a un ordenador (con Windows 8 o mayor) consta de dos hubs, uno para conectar el cable USB 3.0 que manda los datos de la Kinect al PC y otro para el cable de alimentación como se ve en la siguiente imagen (ver Figura 3.4).

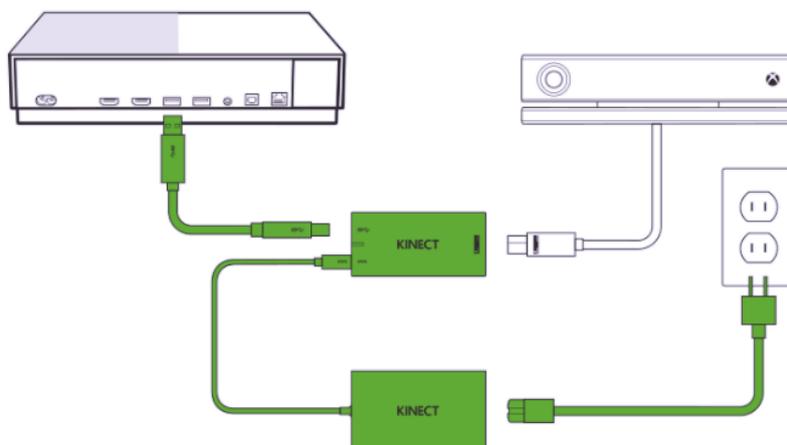


Figura 3.4: Conexión de la Kinect con el ordenador [11]

Para poder utilizar la Kinect en un ordenador, es necesario que este tenga unos requisitos mínimos como [12]:

- Procesador de 64 bits.
- Procesador de doble núcleo a 3,1 GHz (2 núcleos lógicos por uno físico) o más rápido.
- Ram de 4 GB.
- Tarjeta gráfica NVIDIA CUDA o GPU compatible con Kinect Fusion.
- Puerto USB 3.0 compatible.

El método que usa Kinect V2 para calcular la imagen se basa en el principio Time of Flight (ToF). La tecnología ToF se basa en el tiempo que la luz emitida requiere para viajar a un objeto y regresar al array de sensores [13]. El transmisor envía luz infrarroja que incide en un objeto a una distancia d , esta luz es reflejada y viaja la misma distancia d y alcanza el receptor, que se encuentra al lado del transmisor, en un tiempo t . En la Figura 3.5 se observa dicho comportamiento.

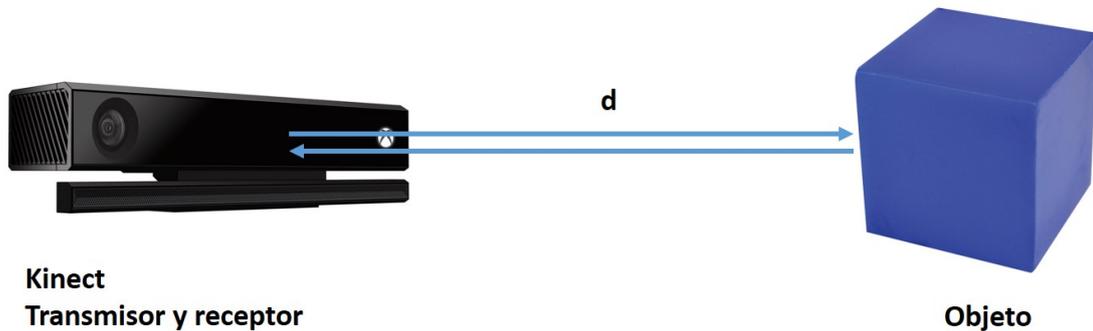


Figura 3.5: ToF operating principle.

Conociendo la velocidad de la luz, la distancia al objeto es proporcional al tiempo que la luz necesita para viajar del emisor al receptor (3.1). Para cada pixel hay un dato de distancia [9]. Finalmente con estos datos se puede formar la imagen de profundidad.

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (3.1)$$

Resolución cámara IR	512x424 y 30 FPS
Resolución cámara RGB	1920x1080 Full HD y 30 FPS
Campo de visión	70.º en horizontal y 60.º en vertical
Rango de profundidad	de 0.5 m a 4.5 m
USB 3.0	Sí

Tabla 3.1: Tabla Características Kinect V2 [14]

De esta forma con una misma cámara se pueden obtener dos tipos de imágenes, la imagen infrarroja y la de profundidad que tienen la misma resolución. Las distintas resoluciones de ambas cámaras se muestran en la Tabla 3.1.

La imagen de profundidad contiene la medida de la distancia de cada pixel [9]. Esta nube de puntos se representa en escala de grises, para añadir el color se utiliza la imagen de la cámara de color, de forma que a cada pixel de profundidad le corresponde un vector RGB.

3.3.2. Estructura giratoria

El sensor de infrarrojos gira alrededor del brazo con ayuda de una estructura de hierro (primer prototipo), que cuenta con las medidas representadas en la Figura 3.6. La estructura es extensible a partir del metro que tiene de base y de esta forma se puede adaptar tanto a los pacientes como a las características de la consulta.

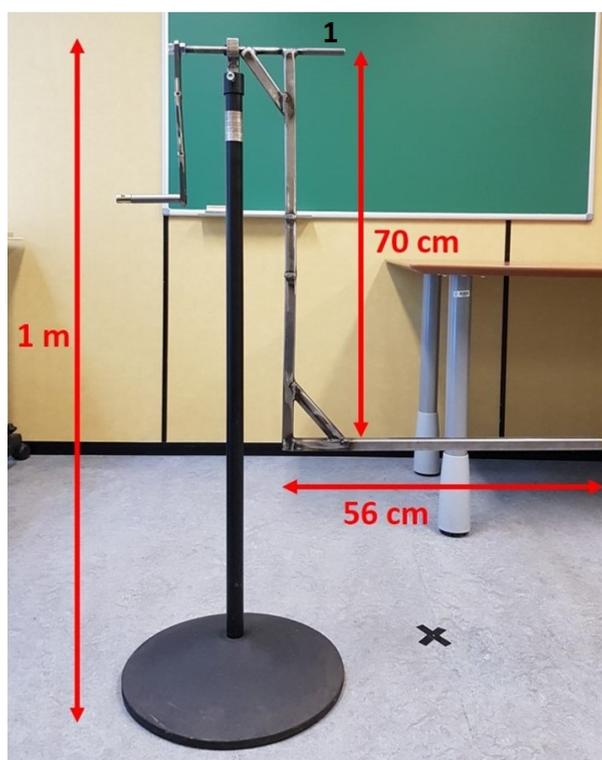


Figura 3.6: Estructura con sus medidas

El brazo de la estructura mide 70 cm debido a que es la distancia mínima a la que la cámara de infrarrojos empieza a detectar. Como se muestra en la Tabla 3.1, la cámara es capaz de detectar profundidades a partir de los 50 cm. El brazo de una persona no es uniforme, el radio va aumentando y el brazo no es simétrico, el bíceps y el tríceps no son iguales. Por lo tanto, la distancia del brazo de la estructura no podía ser 50 cm.

Entonces, se realizaron diferentes capturas de un brazo a distintas distancias se vio que la distancia mínima para poder captar el brazo era de 70 cm. Se realizaron diferentes capturas de

un brazo a distintas distancias y se estimó la distancia mínima para captar el brazo: 70 cm.

El brazo debe estar alineado con el punto 1 de la Figura 3.6 de manera que no haya zonas en negro en la imagen de profundidad sacada por la cámara de infrarrojos.

Para que la estructura pueda girar sin molestar al paciente y pueda captar la imagen del brazo completo, la estructura debe tener 56 cm de ancho.



(a) Estructura

(b) Estructura ajustada en altura

Figura 3.7: Estructura

La altura de la estructura se puede ajustar como se muestra en la Figura 3.7. Si el paciente está sentado elegiremos la opción 3.7a. Sin embargo, si está en un lugar más alto, como una camilla o incluso de pie, se puede elevar como se ve en la Figura 3.7b.

3.3.3. Software de cálculo de volumen

En este trabajo se ha diseñado un software para el cálculo del volumen, que se compone de dos interfaces.

La principal (Figura 3.8) aparece al ejecutar el programa, y sirve para introducir el número del historial y crear un archivo Excel asociado a él, si ya existe el archivo Excel correspondiente, aparece la ruta donde se encuentra ese archivo.

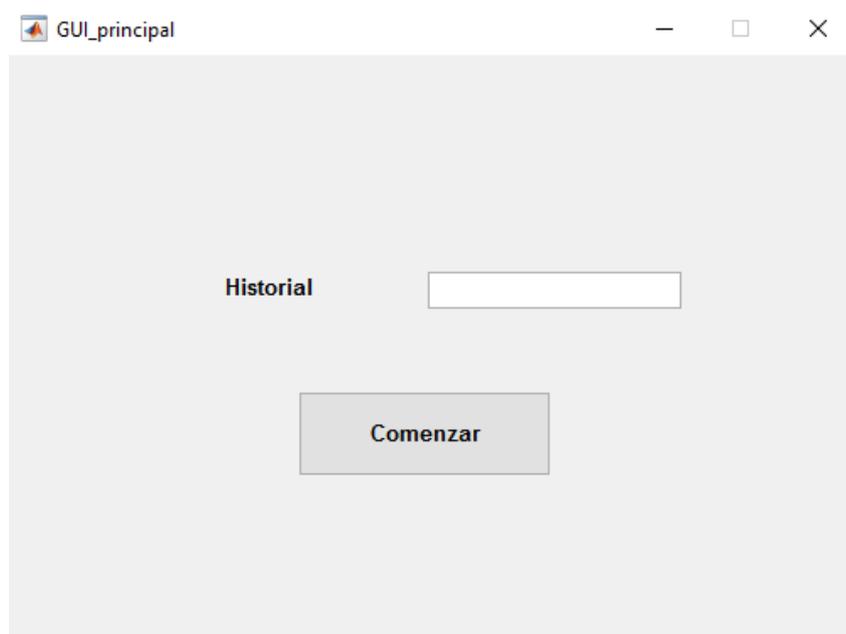


Figura 3.8: Interfaz

Al pulsar en *Comenzar* aparece la interfaz, que se muestra en la Figura 3.9 donde se calcula el volumen y se accede a las demás funcionalidades que se enumeran a continuación:

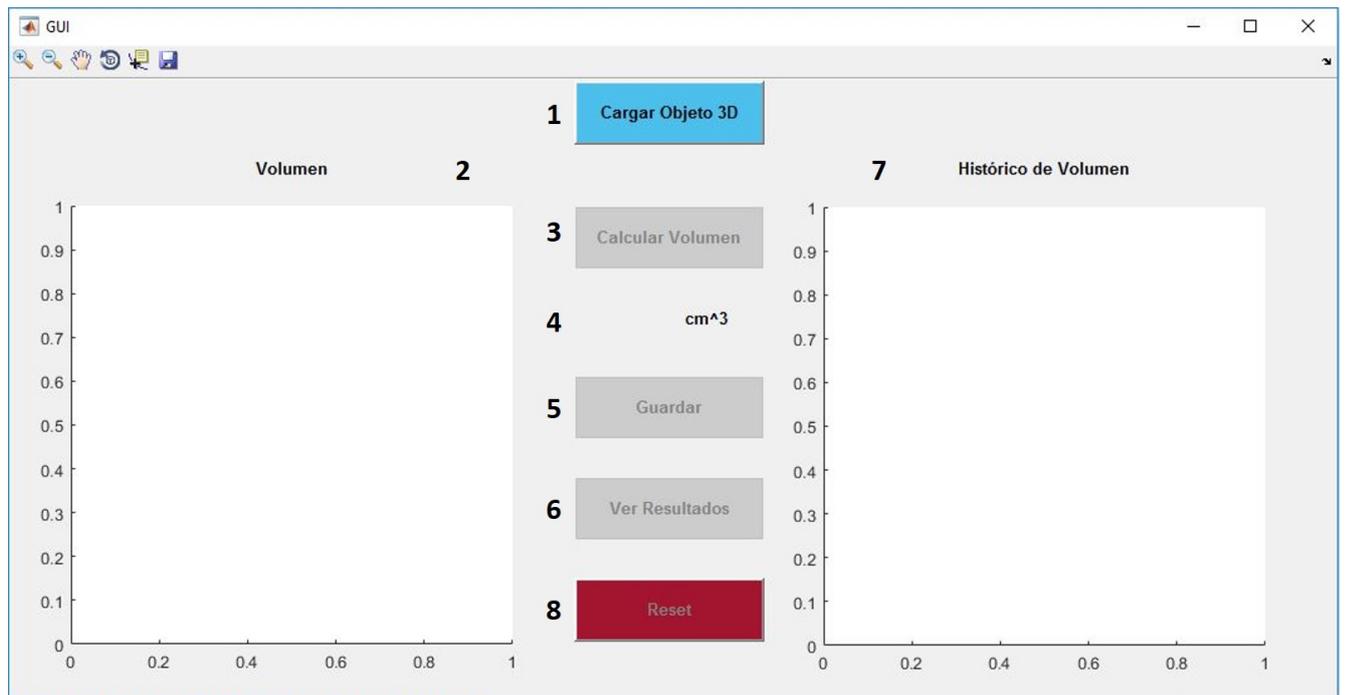


Figura 3.9: Interfaz de cálculo de volumen

- 1. Cargar el objeto 3D, se abre una ventana, y de esta forma accedes a la carpeta donde se encuentra y el objeto y lo seleccionas.
- 2. Se muestra el objeto cargado.
- 3. Se calcula el volumen.
- 4. Se muestra el volumen calculado en centímetros cúbicos.
- 5. Se guarda el dato del volumen en el archivo Excel correspondiente.
- 6. Posibilidad de mostrar los resultados que hay en ese archivo Excel.
- 7. Posibilidad de hacer un reset de estos datos.

3.4. Procedimiento de medida

3.4.1. Protocolo de medida

A continuación se describe el protocolo de medida utilizado:

- Presentación del sistema de medida al paciente: se explica en qué consiste la prueba.
- Colocación: el brazo y la mano deben estar estirado y con los dedos juntos, como se muestra en la Figura 3.10

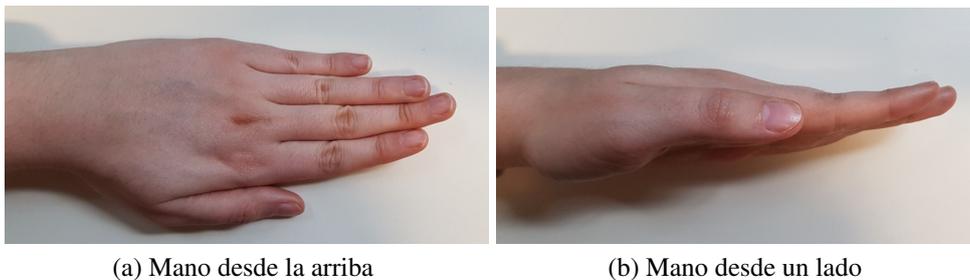


Figura 3.10: Colocación de la mano

- La dirección de giro de la estructura es hacia la izquierda desde el punto de vista de la persona que la hace girar(desde el punto de vista de la paciente es la derecha).
- Capturar el volumen.
- Nombrar el archivo como: n^opaciente_brazomedido_afecto/sano.
- Para la medición del otro brazo, se gira la silla y se procede de la misma forma.

3.4.2. Set-up de medida

Para demostrar la viabilidad del sistema en cuanto a su capacidad para medir el volumen del brazo, se proponen dos pruebas a realizar, el método creado en este proyecto y el método

que realizan en el complejo hospitalario, las medidas perimétrales. Para así validar el sistema de medida diseñado en este trabajo con el método que se utiliza en la clínica.

Para ajustar el sensor de infrarrojos en la estructura de forma que pueda captar todo el brazo se utiliza cinta adhesiva para que no tape el emisor ni el receptor de infrarrojos como se muestra en la Figura 3.11.



Figura 3.11: Lugar de colocación de la cinta

Como marca el protocolo, la primera medida es del brazo derecho, con el brazo recto alineado con la guía y la mano bien colocada como se muestra en la Figura 3.12. El sensor de infrarrojos está conectado al ordenador y tras ejecutar el programa 3D Scan se gira la estructura alrededor del brazo, mientras la paciente permanece quieta. Al sacar el objeto 3D se guarda y se repite el proceso.

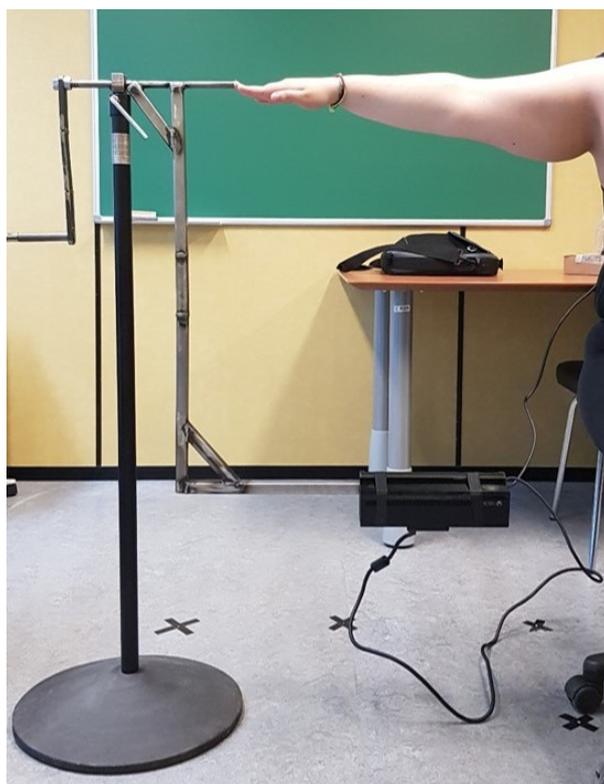


Figura 3.12: Obtención del objeto en 3D

3.4.3. Captura de datos

Seguidamente, se capturan las distintas imágenes del brazo y su reconstrucción a través de nubes de puntos mediante el software 3D Scan. El dato del volumen se calcula mediante un software realizado con Matlab®.

3.4.4. 3D Scan

Mediante el software 3D Scan se realiza el escaneo del brazo de una paciente. En el programa aparece representada la imagen captada por el sensor (Figura 3.13).

Con los controles de ancho, alto y profundidad se eligen los valores óptimos para el objeto que se quiere digitalizar. Con el parámetro de profundidad se consigue eliminar el mayor

número de elementos ajenos al brazo que no resultan de interés. Una vez pulsado el botón *Digitalizar*, el operario debe girar la estructura a velocidad constante sin ir demasiado rápido. Este proceso dura una media de 30 segundos.

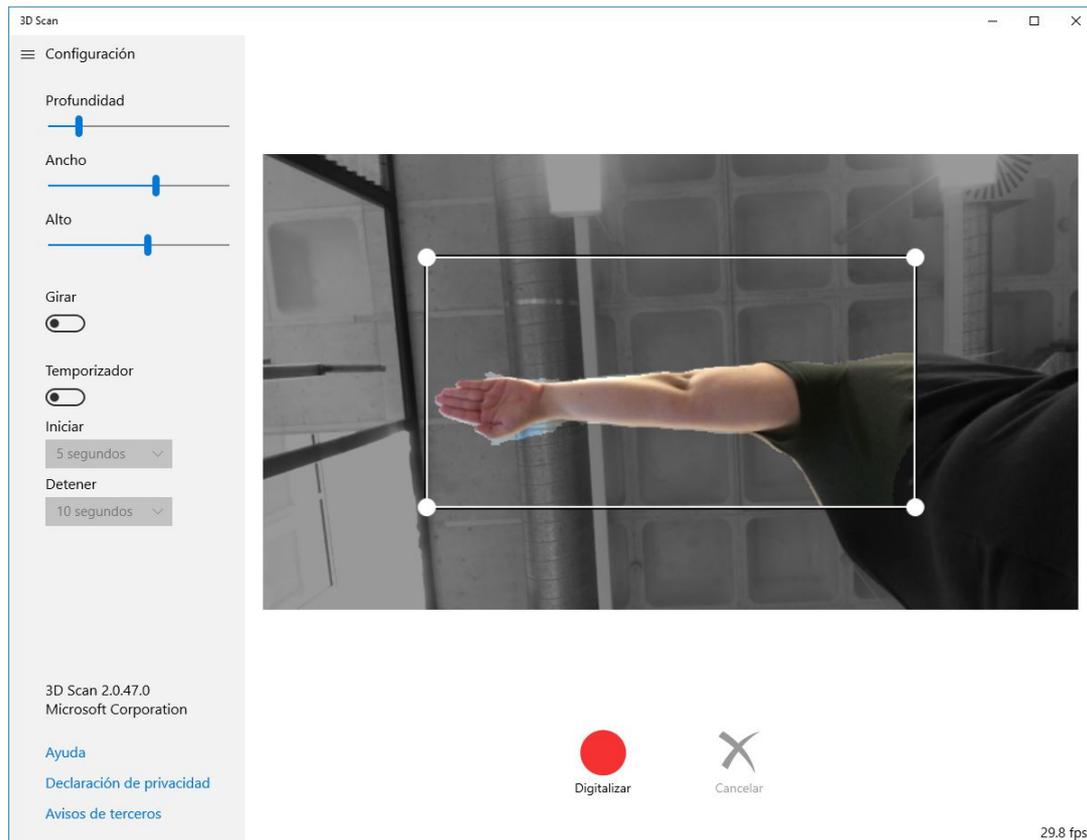


Figura 3.13: 3D Scan

3.4.5. 3D Builder

Para la obtención del volumen del brazo, primero se visualiza el objeto 3D escaneado mediante el software 3D Builder como se puede apreciar en la Figura 3.14.

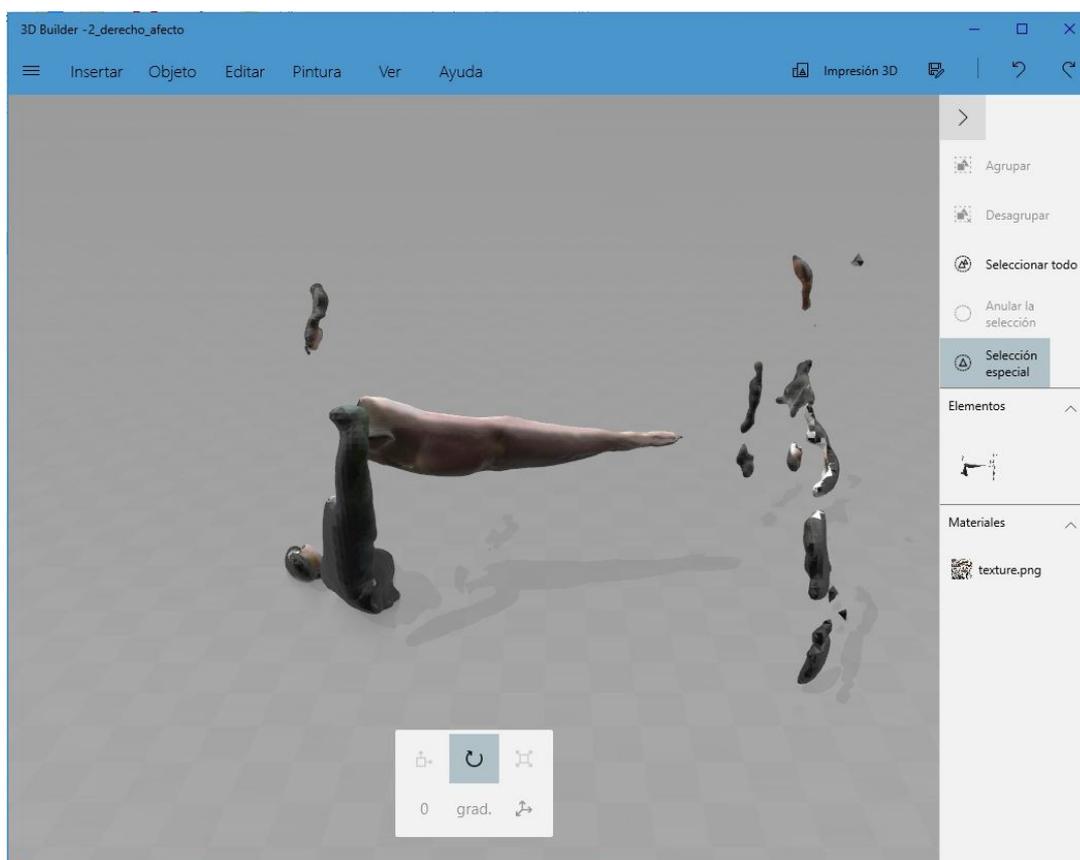


Figura 3.14: Visualizado del objeto con 3D Builder

Con las herramientas que proporciona este software se pueden limpiar fácilmente los elementos que se han escaneado a parte del brazo (Figura 3.15a).

Posteriormente se recorta el objeto por donde empiezan y acaban las medidas de circunferencia, obteniendo así un objeto 3D como el que se muestra en la Figura 3.16. El cálculo del volumen se realizará a partir de este objeto.

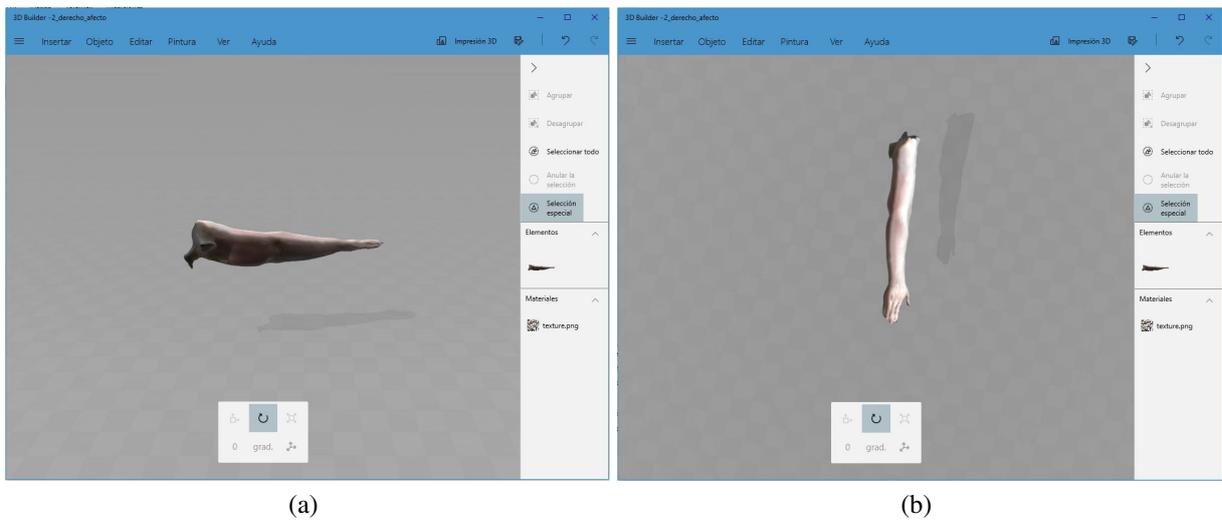


Figura 3.15: Visualizado del brazo con 3D Builder



Figura 3.16: Visualizado del objeto final con 3D Builder

3.4.6. Software Volumen

A continuación se carga el objeto final con el software de cálculo del volumen como se aprecia en la Figura 3.17.

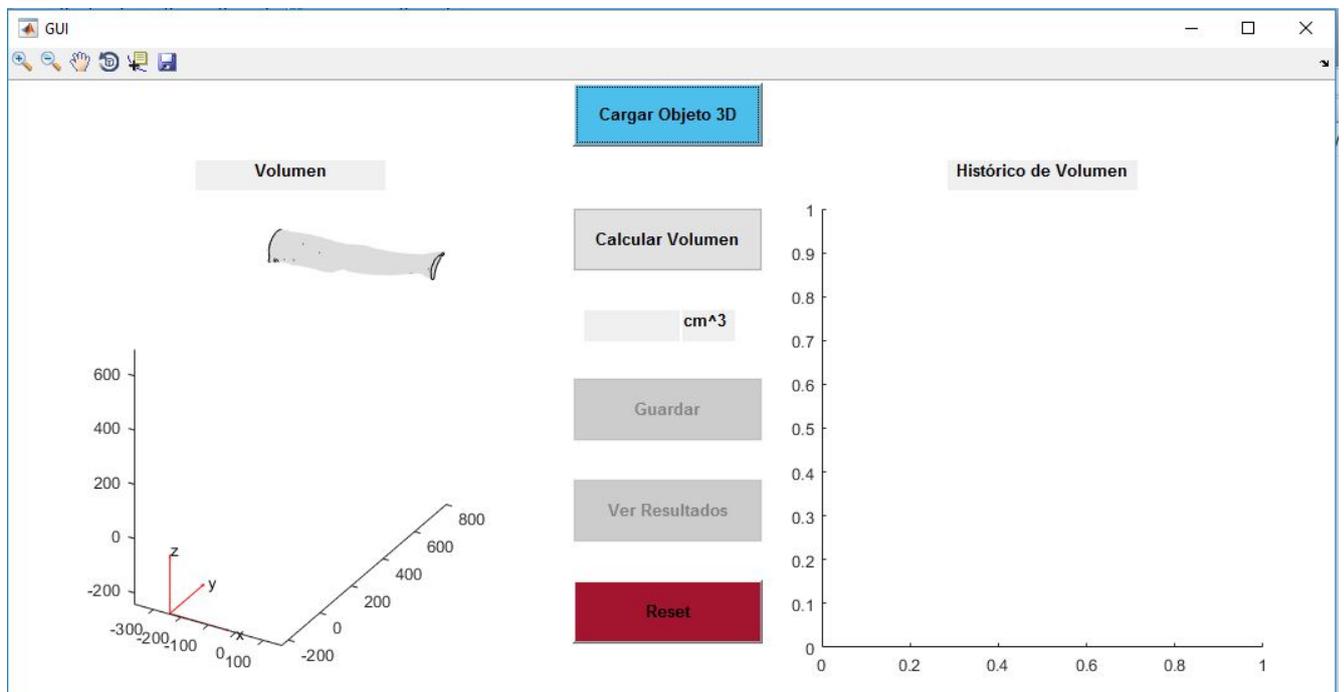


Figura 3.17: Objeto cargado en la interfaz

Para calcular el volumen se utiliza la función de Matlab[®] `stlRead` [15]. Esta función devuelve los vértices de las triángulos que componen el objeto (Figura 3.18). A partir de este matriz de vértices se realiza la función `alphaShape`.

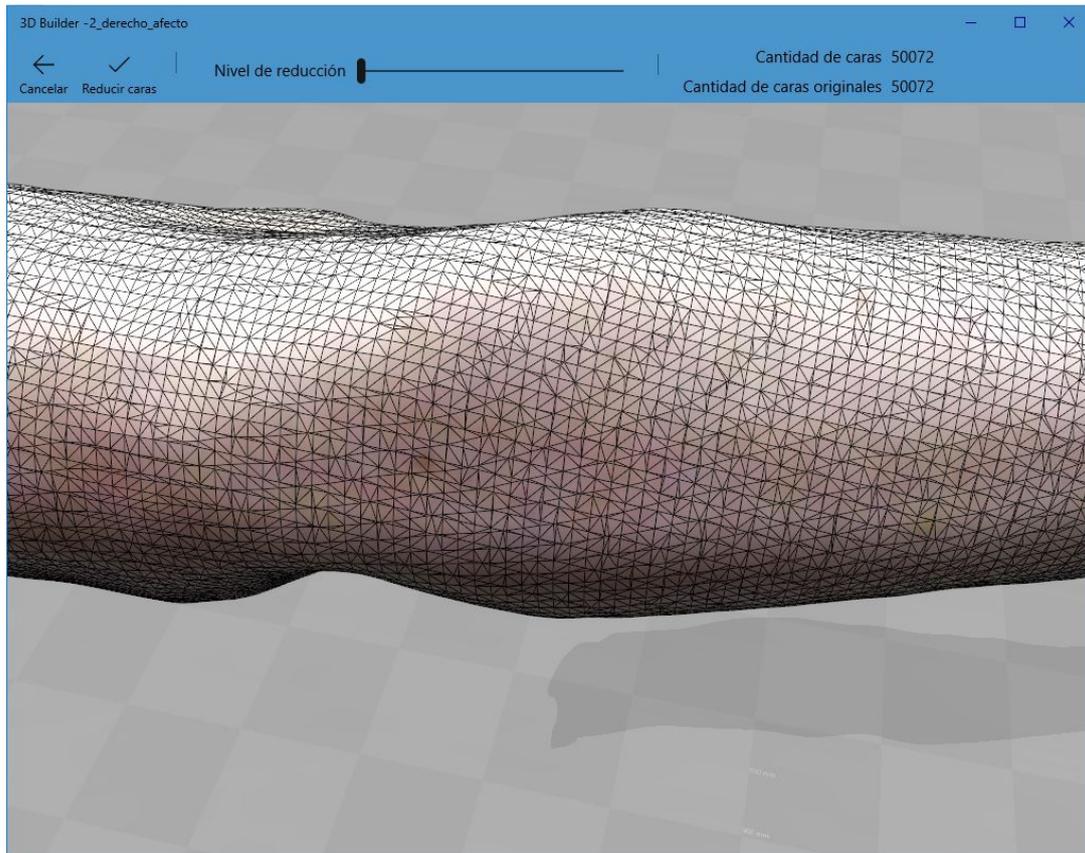


Figura 3.18: Triángulos o caras para representar el objeto

Como primera opción para calcular el volumen se probó la envolvente convexa, que es la mínima que contiene al objeto. Pero no se adaptaba bien a la forma del brazo ya que el volumen calculado era mucho mayor que el que debía ser.

Una alpha shape asociada a un conjunto de puntos es una generalización de la envolvente convexa. A partir de esta alpha shape se calcula el volumen en centímetros cúbicos con la función *volume* (Figura 3.19).

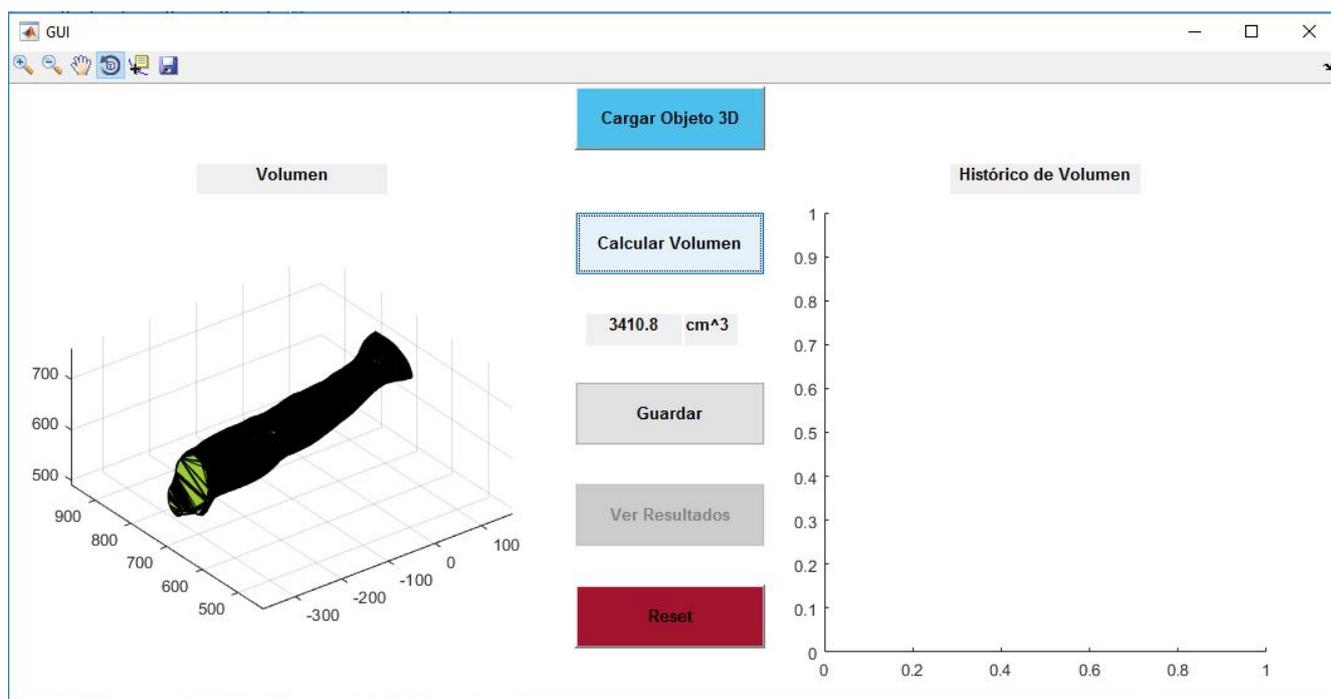


Figura 3.19: Volumen calculado

Posteriormente se exportan los datos a Excel tal y como se muestra en la Tabla 3.2

fecha	nombre	volumen
26/04/2018	2_derecho_afecto	3410,79675146974

Tabla 3.2: Ejemplo de datos guardados en un Excel

En la parte derecha del software se puede ver el histórico del volumen tanto del brazo afecto como del sano en una gráfica (Figura 3.20).

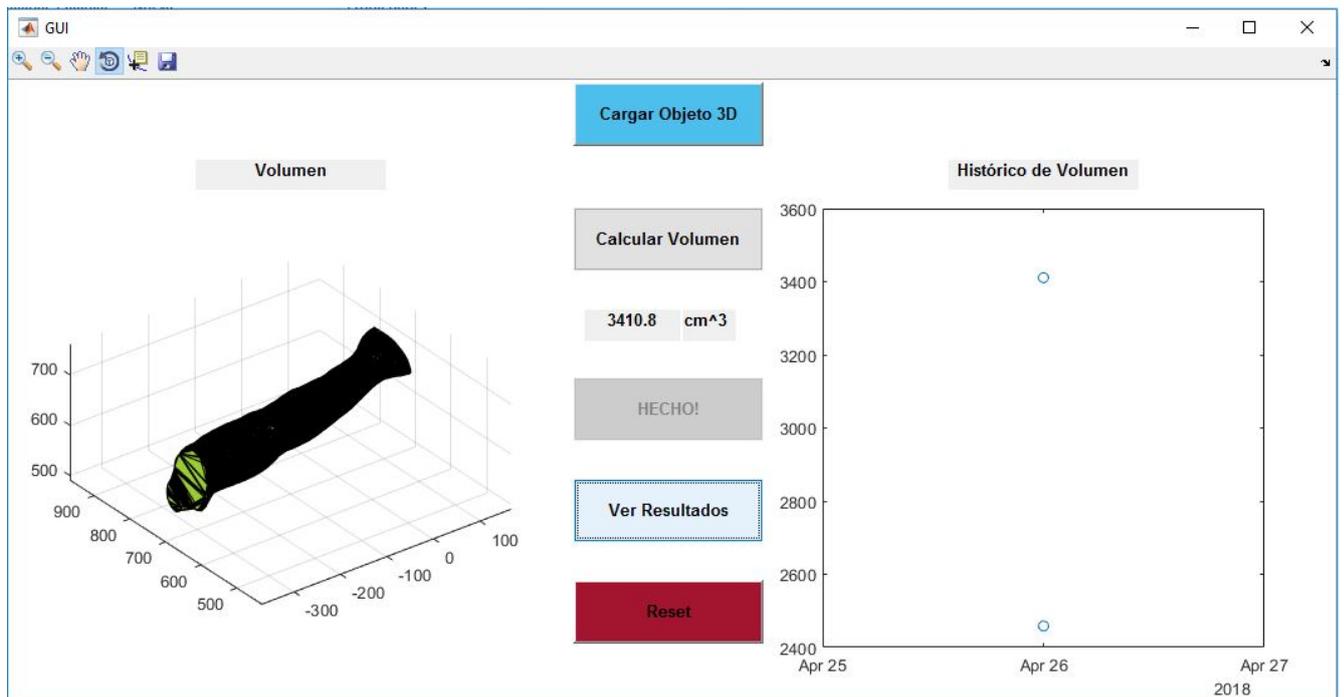


Figura 3.20: Histórico del volumen

El *Reset* sirve para borrar los datos de uno de los lados, afectado o no afectado, y calcular el otro según corresponda.

3.4.7. Restricciones

En las pruebas previas a la medición con pacientes, se detectó una limitación con respecto a la iluminación de la sala. Cuando incidía luz directa sobre el sensor de infrarrojos en el proceso de digitalización, la reconstrucción del objeto 3D no era la correcta ya que aparecían malformaciones como se señala en la Figura 3.21.

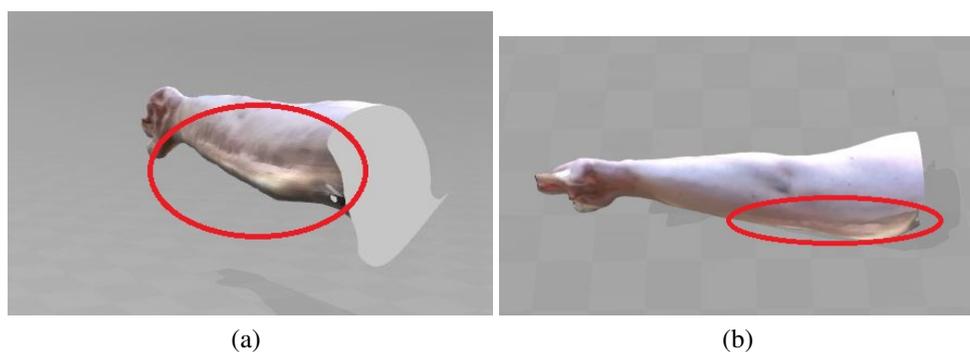


Figura 3.21: Ejemplos de mala reconstrucción debido a la luz

3.4.8. Análisis Estadístico

Para comprobar si ambos métodos están relacionados se ha utilizado un test de correlación, obteniendo el coeficiente Pearson y el p-valor del mismo.

Para evaluar numéricamente si existen diferencias y si éstas son significativas o no, se utilizó el test estadístico no paramétrico de Wilcoxon con un nivel de significación del 5%.

Se definieron tanto la hipótesis nula y la alternativa como:

$$H_0 : \mu_a = \mu_b$$

$$H_1 : \mu_a \neq \mu_b$$

4

Resultados y análisis

En este capítulo se detallan los resultados de las medidas con pacientes para la validación del método.

4.1. Resultados

4.1.1. Medidas perimétricas

La Tabla 4.1 muestra los resultados de los perímetros y del volumen para cada paciente.

P.	AFECCIÓN	MANO	MUÑ	ATB	C.D.	C.P.	BRAZO	V
1	AFECTO	20.1	20.5	32.2	34	37	35.1	3039.62
	SANO	19.8	17.5	25.4	27.4	28.4	30.6	2011.72
2	AFECTO	17.1	16.1	24.4	24.6	25	26.2	1631.17
	SANO	17.5	15.8	21.9	23	24.2	26.5	1489.78
3	AFECTO	19.4	18.1	26.5	29	29.5	31.1	2164.09
	SANO	19.6	17	23.6	25.5	26.1	29	1769.52
4	AFECTO	19.4	16.9	26	27.4	27.5	28.1	1933.02
	SANO	18.6	14.7	23.2	24.3	24.6	27.4	1580.24
5	AFECTO	19.7	18	23.8	25.4	27.1	31.4	1876.09
	SANO	18.1	15.9	23.7	25	26.1	28.6	1706.79
6	AFECTO	18.7	19.9	27.4	29.3	30.5	33	2319.43
	SANO	19	15.5	22.2	24.7	25	27.5	1601.22
7	AFECTO	18.4	16.4	25.2	26.9	27.4	28.9	1878.53
	SANO	19.3	15.7	25	24.8	25.6	27.8	1717.00
8	AFECTO	19.3	16.5	28	32.1	34.4	35.4	2581.90
	SANO	18	15.4	21.7	25.8	26.9	30.1	1718.78
9	AFECTO	19.6	25.5	32.2	35.8	36.2	35	3226.41
	SANO	19.4	17.6	26.9	29.8	29.9	34.4	2276.26
10	AFECTO	19	15.9	21	24.7	21.2	22.3	1382.75
	SANO	18.6	15.2	18.4	21.9	21.7	23.9	1255.54
11	AFECTO	20.2	19	25	26.8	26.1	29.5	1919.92
	SANO	18.5	16	22.1	25	25.9	28.9	1667.10
12	AFECTO	20.3	19.1	26.9	30.4	31.7	31.6	2361.92
	SANO	20.7	18	25.2	28.6	30	31.6	2150.50
13	AFECTO	18.7	18.3	24.6	28.2	30.9	34.4	2192.88
	SANO	19.5	19.2	26.2	28.9	30.1	32.5	2230.69
14	AFECTO	20	18.6	22.9	24.1	24.3	27.3	1661.04
	SANO	20	16	21.2	22.5	23.2	25.5	1442.99
15	AFECTO	18.9	16.1	25.3	27.4	26.9	30	1899.98
	SANO	19.4	15.5	23.5	24.2	24.3	26.6	1589.27
16	AFECTO	18.1	13.5	18.7	22.7	22.9	24.5	1288.80
	SANO	18.9	13.5	19	20	19.6	21.3	1096.44

Tabla 4.1: Resultados medidas perimétricas: descripción... P: paciente; V: volumen

4.1.2. Método Sensor Infrarrojos

En la Tabla 4.2 se muestran los resultados de los volúmenes.

PACIENTE	AFECCIÓN	VOLUMEN
1	AFECTO	3410.80
	SANO	2458.512
2	AFECTO	1417.37
	SANO	1279.22
3	AFECTO	1974.71
	SANO	1702.80
4	AFECTO	1148.82
	SANO	1114.45
5	AFECTO	1829.04
	SANO	1592.61
6	AFECTO	1736.84
	SANO	1224.89
7	AFECTO	1822.54
	SANO	1610.79
8	AFECTO	2762.501
	SANO	2034.17
9	AFECTO	3640.73
	SANO	2651.70
10	AFECTO	1337.01
	SANO	1034.81
11	AFECTO	1835.66
	SANO	1650.33
12	AFECTO	2553.17
	SANO	2416.23
13	AFECTO	2431.01
	SANO	2550.09
14	AFECTO	1839.84
	SANO	1641.32
15	AFECTO	2281.94
	SANO	2021.84
16	AFECTO	1679.08
	SANO	1361.31

Tabla 4.2: Resultados método sensor infrarrojos

4.2. Análisis de Resultados

La Figura 4.1 muestra un diagrama de dispersión en la que se observan los valores de la diferencia de volumen para ambos métodos. Tanto la propia gráfica como el p-valor como r^2 nos indican que el método propuesto en este proyecto puede ser sustituido por el utilizado en la clínica.

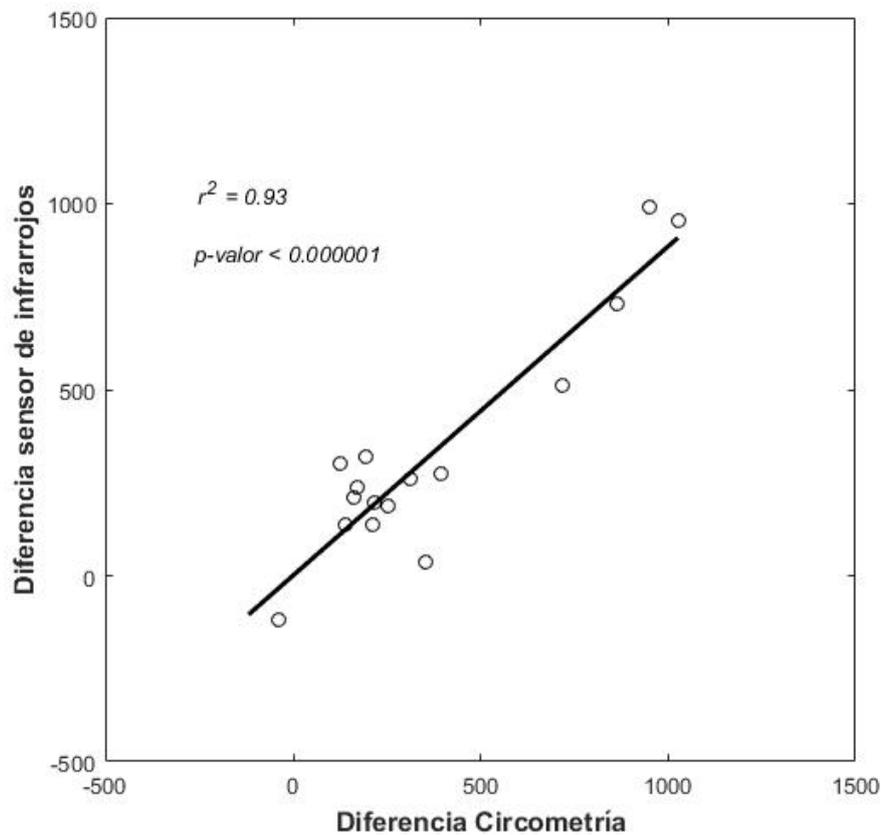


Figura 4.1: Diferencia de volúmenes de ambos métodos

En la Tabla 4.3 se muestran los valores de la media de la diferencia de volumen para ambos métodos, así como el dato del p-valor del análisis estadístico.

DIFERENCIA DE VOLUMEN		
MEDIA PERÍMETROS	MEDIA SENSOR INFRARROJOS	p-valor
378.36	334.75	0.8653

Tabla 4.3: Diferencia de volúmenes de ambos métodos

Al realizar el test estadístico se obtuvo un p-valor de 0.8653. Este resultado da la información de que no tenemos evidencias para poder rechazar la hipótesis nula y se concluye que no hay diferencias significativas entre ambos métodos. Por lo tanto, el método propuesto en este Trabajo de Fin de Máster queda validado.

5

Conclusiones y líneas futuras

Se ha diseñado un sistema de medida del volumen del brazo tanto para la detección como para el posterior seguimiento del linfedema.

Se midieron a 16 pacientes con el nuevo método y con el de medidas perimétricas para comprobar si este nuevo sistema puede ser sustituido por el método actual.

Los resultados muestran que no hay diferencias significativas entre ambos métodos y éstos están correlados, por lo tanto, podemos concluir que es una técnica prometedora para hacer un seguimiento de los pacientes con linfedema en la clínica práctica.

Con el fin de lograr un sistema lo más portátil posible se propone como línea futura la mejora de la estructura haciéndola menos pesada, por ejemplo, cambiando el material utilizado.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

También habría que rediseñar la estructura sobre todo para las medidas de linfedemas de extremidad inferior.

Por otra parte, sería conveniente reducir el tamaño del sensor y así disminuir su peso para adecuarlo a la nueva estructura.

También se propone que la comunicación del sensor con el ordenador sea inalámbrica.

El sensor usado en este proyecto, Kinect V2 se encuentra descatalogado, ya que no tuvo mucho éxito para lo que fue creada, los videojuegos. Pero en el campo de la investigación y la tecnología el sensor Kinect V2 ha funcionado muy bien.

Actualmente, Kinect se ha unido con Azure (es el gran servidor en la nube de Microsoft) y han anunciado Project Kinect for Azure como parte integral del desarrollo de la inteligencia artificial (IA) para aplicaciones médicas, industriales, robóticas y educativas [16]. La innovación consiste en integrar los sensores de Kinect con los servicios de IA de Azure para lograr resultados más precisos con un consumo energético menor [17].



Figura 5.1: Kinect Azure

Por último, se propone realizar más sesiones de medida con pacientes para comparar los resultados con la técnica del desplazamiento de agua.

Bibliografía

- [1] A. Morandeira-Rivas J.J. Aguilar-Naranjo L. Millán-Casas J.F. Santos-Andrés. *Análisis sobre el conocimiento de las medidas de prevención en los linfedemas postmastectomía. Rehabilitación. 2008;42(4):195-198.*
- [2] *Linfedema Datos*. Capítulo Español de Flebología y Linfología. URL: <http://www.capitulodeflebologia.org/?area=38>.
- [3] *Orientación Diagnóstica y Terapéutica del Linfedema*. Capítulo Español de Flebología y Linfología Y Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física. URL: http://www.capitulodeflebologia.org/media/Guia-linfedema-segunda-edicion-final-2017_439.pdf.
- [4] A. Forner-Cordero E. Cuello-Villaverde I. Forner-Cordero. *Linfedema: métodos de medición y criterios diagnósticos. Rehabilitación. 2010;44:21-28.*
- [5] Vanessa Úcles Andrea Medina Méndez. *Linfedema y Cáncer de mama. Revista Clínica de la Escuela de Medicina UCR – HSJD. Año 2014 Vol 4 No II.*
- [6] R. Sansegundo F. J. Santos J. J. Aguilar O. Acebes E. Renau. *Valoración del linfedema postmastectomía. Estudio de dos métodos de medición. Rehabilitación. 1999;33:190-4.* URL: <http://www.elsevier.es/es-revista-rehabilitacion-120-articulo-valoracion-del-linfedema-postmastectomia-estudio-13004922>.

- [7] R. Martín-Mourelle C. Villarino-Díaz Jiménez A. Arias-Cuadrado M.J. Álvarez-Vázquez. *Clínica, clasificación y estadiaje del linfedema. Rehabilitación. 2010;44:29-34.*
- [8] *Análisis para el linfedema.* Breastcancer.org. URL: <http://www.breastcancer.org/es/tratamiento/linfedema/evaluacion/analisis>.
- [9] Tania Landes Elise Lachat Hélène Macher y Pierre Grussenmeyer. *Assessment and Calibration of a RGB-D Camera (Kinect v2 Sensor) Towards a Potential Use for Close-Range 3D Modeling.* *Remote Sens.* 2015, 7, 13070-13097; doi:10.3390/rs71013070.
- [10] Shivnarayan Gou. *Kinect v2 for Windows.* URL: <http://ignatiuz.com/blog/kinect-development/kinect-v2-for-windows/>.
- [11] FRANKIE MB. *Microsoft le pone el último clavo al ataúd de Kinect: se deja de fabricar el adaptador para las nuevas Xbox One.* URL: <https://www.vidaextra.com/xbox-one/microsoft-le-pone-el-ultimo-clavo-al-ataud-de-kinect-se-deja-de-fabricar-el-adaptador-para-las-nuevas-xbox-one>.
- [12] Microsoft. *Digitalización en 3D con Windows 10.* URL: <https://developer.microsoft.com/es-es/windows/hardware/3d-print/scanning-with-kinect>.
- [13] A. Kolb H. Sarbolandi D. Lefloch. *Kinect range sensing: Structured-light versus Time-of-Flight Kinect.* *Computer Vision and Image Understanding* 139(2015)1–20.
- [14] Marçal Montserrat. *Características Kinect 2.* URL: <http://www.kinectfordevelopers.com/es/2014/01/28/caracteristicas-kinect-2/>.
- [15] Pau Micó. *stlTools.* URL: <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/51200-stltools>.
- [16] Alejandro Alcolea. *Microsoft resucita Kinect como parte de Azure y su inteligencia artificial.* URL: <https://computerhoy.com/noticias/industria/microsoft-resucita-kinect-como-parte-azure-su-inteligencia-artificial-246842>.
- [17] Alex Kipman. *Introducing Project Kinect for Azure.* URL: <https://www.linkedin.com/pulse/introducing-project-kinect-azure-alex-kipman/?irgwc=1>.

