



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
POSTGRADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**EXTRACCIÓN DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS UTILIZANDO UN ESCÁNER
CORPORAL BASADO EN KINECT PARA EL CONTROL DE PACIENTES CON
TRASTORNOS ALIMENTICIOS**

Trabajo de Grado presentado ante la ilustre Universidad
Central de Venezuela para optar al Título de Magister en
Ciencias de la Computación

Tutor: Dr. Rhadamés Carmona

Autor: Lic. Isaac Miliani T.

Caracas, Septiembre 2017



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



Comisión de Estudios
de Postgrado

VEREDICTO

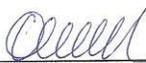
Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el Trabajo de Grado presentado por: **Isaac David Miliani Traña, de C.I. 15.912.566**, bajo el título "Extracción de Datos Antropométricos utilizando un escáner corporal basado en Kinect para el control de pacientes con trastornos alimenticios", a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de **Magister Scientiarum**, dejan constancia de lo siguiente:

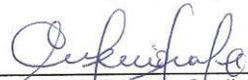
1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día nueve de noviembre de 2017 a las 9:00am, para que Isaac Miliani lo defendiera en forma pública, lo que en efecto hizo en el Auditorio Manuel Bemporad de la Escuela de Computación de la UCV, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual contestó a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió **Aprobar**, por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por el autor, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado

Para dar este veredicto, el jurado estimó que el trabajo examinado constituye un aporte en el problema de mediciones antropométricas, y servirá como base para futuros trabajos relacionados a este problema.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los nueve días del mes de noviembre del año dos mil diecisiete, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como coordinador del jurado el prof. Rhadamés Carmona.


Prof. Omaira Rodríguez, C.I. 3811839
UCV – Instituto Nacional de Bioingeniería


Prof. Eugenio Scalise, C.I.
UCV – Escuela de Computación


Prof. Rhadamés Carmona, C.I. 1080424
UCV – Escuela de Computación
(Tutor)



RC 09/11/2017.

Página 1 de 1



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
POSTGRADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

EXTRACCIÓN DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS UTILIZANDO UN ESCÁNER CORPORAL BASADO EN KINECT PARA EL CONTROL DE PACIENTES CON TRASTORNOS ALIMENTICIOS

RESUMEN

Actualmente, es posible utilizar escáneres 3D para la obtención de medidas antropométricas. En el área de nutrición, diversos estudios han concluido que los escáneres 3D tienen el potencial de ser utilizados como herramienta en la prevención, tratamiento y monitoreo de enfermedades relacionadas con la obesidad, ya que permiten obtener una medición precisa de las dimensiones circunferenciales del cuerpo. En este trabajo se plantea desarrollar una aplicación para la extracción de medidas antropométricas y para el monitoreo de avances en tratamientos contra trastornos alimenticios a partir de modelos 3D capturados con un Kinect v2. Se espera que las medidas tengan una precisión cercana a las mediciones hechas por un antropometrista profesional. Por otra parte, debido a la relación entre obesidad y enfermedades mortales, se espera que la aplicación sirva de base como una herramienta útil en la antropometría digital.

Palabras Claves: medidas, antropométricas, escáneres, 3D, obesidad, nutrición, modelos 3D.

DEDICATORIA

A mis padres, esposa, familiares y amigos por su paciencia y apoyo durante todo este tiempo.

Agradecimientos a la Universidad, sus profesores y a mi tutor Prof. Rhadamés Carmona por su tiempo y dedicación.

Agradecimientos y mención aparte a todos los modelos que posaron frente al escáner.

CONTENIDO

Capítulo 1 – INTRODUCCIÓN	11
Capítulo 2 - TRABAJOS PREVIOS	17
Capítulo 3 - DIGITALIZACIÓN DEL CUERPO HUMANO.....	29
3.1 Kinect.....	29
3.2 Kinect Fusion	34
Capítulo 4 - POST PROCESAMIENTO DEL MODELO 3D	38
4.1 Reducción de Vértices	42
4.2 Filtrado de valores atípicos	44
4.3 Filtrado de geometría no relevante.....	45
4.4 Orientación de las normales	46
4.5 Reconstrucción de la Superficie	47
Capítulo 5 – EXTRACCIÓN DE MEDIDAS	50
5.1 Cálculo de Dimensiones Lineales	50
5.2 Cálculo de Circunferencias.....	52
5.3 Comparación de Modelos.....	55
Capítulo 6 - IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	57
6.1 Casos de Uso	58
6.1.1 Módulo de Digitalización del cuerpo humano	58
6.1.2 Módulo de Post Procesamiento	60
6.1.3 Módulo de Extracción de Medidas.....	62
6.2 Arquitectura del Sistema prototipo	66
6.1.1 Librería PCL	66
6.1.2 Librería VCG.....	67
6.1.3 Librería Qt.....	67
6.1.4 Librería CGAL.....	67

6.1.5 Librería QGLViewer.....	68
6.3 Diagrama Entidad-Relación	69
6.4 Pruebas.....	69
Capítulo 7 - CONCLUSIONES Y TRABAJOS A FUTURO	72
REFERENCIAS.....	74

TABLA DE FIGURAS

Figura 2-1 Fases para la extracción de medidas antropométricas: a) Nube de Puntos, b) Reconstrucción de la Superficie, c) Ubicación de Puntos de Referencia, d) Mediciones Lineales y circunferenciales entre los puntos de referencia [8]	17
Figura 2-2 Comparación de modelos 3D para la visualización de cambios en la composición corporal [8]	18
Figura 2-3 Extracción de medidas basada en modelos parametrizados [9]	19
Figura 2-4 Interfaz desarrollada en [12] para la extracción de medidas antropométricas a partir de puntos anatómicos de referencia en modelos 3D previamente marcados.	20
Figura 2-5 Interfaz del sistema desarrollado en [14]. Al finalizar las mediciones el sistema muestra un resumen con los resultados.	21
Figura 2-6 Nube de puntos con información del color y posterior separación del fondo [18].	21
Figura 2-7 Combinación de siluetas para generar un estimado del cuerpo [18]	22
Figura 2-8 Mallado resultante en una nueva posición [18]......	22
Figura 2-9 Alineamiento de capturas desde distintos ángulos para la obtención del mallado final [22].	23
Figura 2-10 Etapas del sistema propuesto por Cui, Chang, Noil y Stricker (2012)	24
Figura 2-11 Resultados obtenidos de 5 personas escaneadas por Cui, Chang, Noil y Stricker (2012) en [25].	25
Figura 2-12 Reconstrucción de grandes escenas con KinectFusion [30].	26
Figura 2-13 Modelo 3D capturado por (A) un escáner Minolta, (B) KinectFusion y (C) resultado en [32].	27
Figura 3-1 Componentes del Kinect v2	30
Figura 3-2 Principio de funcionamiento de una cámara de tiempo de vuelo (TOF)......	31
Figura 3-3 Especificaciones técnicas del Kinect	32
Figura 3-4 Error de precisión del sensor de profundidad	32
Figura 3-5 Rango de distancias admitidas por el sensor Kinect [10]	33
Figura 3-6 Reconstrucción de una toma, mapas de normales (centro) y Phong-shaded (gris)	34
Figura 3-7 Reconstrucción de una escena mediante el movimiento circular del sensor	35

Figura 3-8 Proceso de Reconstrucción [11]	35
Figura 4-1 Escena escaneada con el Kinect, visualizada en Meshlab™	38
Figura 4-2 Presencia de valores atípicos en el modelo.....	39
Figura 4-3 Ruido presente en el modelo.....	40
Figura 4-4 Presencia de huecos en el modelo	41
Figura 4-5 Nube de puntos extraída de la captura.....	42
Figura 4-6 Nube de puntos simplificada	43
Figura 4-7 Pasos para la reducción de vértices en el modelo	43
Figura 4-8 Convex hull de valores atípicos en una muestra.....	44
Figura 4-9 Representación por densidad de valores atípicos en una muestra	44
Figura 4-10 Filtrado de geometría no relevante	46
Figura 4-11 Superficie Orientada [16]	47
Figura 4-12 Condición de Delaunay, cada triangulo posee el circuncirculo y su centro [45].....	47
Figura 4-13 Reconstrucción de la superficie mediante la Triangulación Delaunay [16]	49
Figura 5-1 Selección de puntos sobre el mallado (Resaltados en rojo).....	50
Figura 5-2 Trazado del camino más corto entre dos puntos seleccionados sobre el mallado.....	51
Figura 5-3 Bounding box, utilizado para la extracción de la talla del modelo	52
Figura 5-4 Ilustración de un plano de corte definido por el usuario.	53
Figura 5-5 Circunferencia producto del plano de corte con el modelo	54
Figura 5-6 Circunferencia extraída vista desde arriba	54
Figura 5-7 Histórico de cambios en las mediciones de un paciente	56
Figura 6-1 Flujo de procesos y Librerías (parte inferior) del sistema prototipo.....	58
Figura 6-2 Nivel 1 del caso de uso del Módulo de digitalización del cuerpo humano.	59
Figura 6-3 Interfaz para la captura de la superficie del paciente	60
Figura 6-4 Casos de uso del módulo de post-procesamiento.....	61
Figura 6-5 Interfaz de para el post-procesamiento del modelo.....	62

Figura 6-6 Nivel 1 del caso de uso del Módulo de extracción de medidas	63
Figura 6-7 Interfaz para la extracción de medidas	64
Figura 6-8 Visualización de dos modelos de forma simultanea	65
Figura 6-9 Comparación de la circunferencia de cintura entre dos modelos	65
Figura 6-10 Arquitectura del sistema prototipo.....	66
Figura 6-11 Diagrama Entidad-Relación	69
Figura 6-12 Posición anatómica estándar.	70

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

El hombre ha mostrado interés por las formas y dimensiones del cuerpo humano desde la época de los egipcios. Desde entonces, investigadores de distintas disciplinas llevaron a cabo estudios que intentaron establecer las medidas y proporciones del ser humano; entre ellos, el escultor Policleto de Argos en Grecia, el arquitecto Marco Vitruvio en Roma, Leonardo da Vinci durante el Renacimiento con la representación y corrección de los estudios de Vitruvio en el Hombre de Vitruvio, y el pintor alemán Alberto Durero con la obra “Los Cuatro Libros de las Proporciones Humanas”. Sin embargo, es en 1870 cuando se estableció formalmente la Antropometría como ciencia, gracias a la teoría propuesta por el astrónomo Adolph Quetelet para la clasificación del peso ideal del ser humano de acuerdo a la altura, así como el Índice de Masa[1].

La Antropometría tiene como objetivo principal estudiar la composición del cuerpo en diferentes edades y grados de nutrición, a través de las dimensiones físicas (lineales y circunferenciales), así como las reservas de tejido adiposo y muscular. Para ello se basa en el cálculo del Índice de Masa Corporal (IMC), el Índice de Ponderación, el Índice de Volumen Corporal, el Índice Cintura/Cadera y el Diámetro Abdominal Sagital [2].

La antropometría consiste en una serie de mediciones técnicas sistematizadas que expresan, cuantitativamente, las dimensiones del cuerpo humano. A menudo la antropometría es vista como la herramienta tradicional, y tal vez básica de la antropología biológica, pero tiene una larga tradición de uso en la Educación Física y en las Ciencias Deportivas, y ha encontrado un incremento en su uso en las Ciencias Biomédicas. Al hablar de antropometría se deben diferenciar los dos grupos importantes que la constituyen, la antropometría estática y la antropometría dinámica. La primera abarca las mediciones estructurales del cuerpo humano, en diferentes posiciones y sin movimiento; la

segunda involucra las mediciones realizadas al cuerpo en posiciones resultantes del movimiento, y se encuentra estrechamente ligada a la biomecánica.

Generalmente, a las mediciones se las divide en: masa (peso), longitudes y alturas, anchos o diámetros, profundidades, circunferencias o perímetros, curvaturas o arcos, y mediciones de los tejidos blandos (pliegues cutáneos). Además, se pueden definir numerosas mediciones especiales para partes específicas del cuerpo, especialmente para la cabeza, la cara, la mano y el pie. No hay una lista mínima de mediciones aceptadas que deba ser tomada para definir una población.

Con las mediciones ya mencionadas anteriormente se puede tener una mejor idea de las necesidades del sujeto o sujetos a los cuales se les realiza el estudio, pero también es bastante necesario conocer su índice de masa corporal. Para esto se necesita conocer el peso y altura de los sujetos, donde el peso se da en kilogramos y la estatura en centímetros. Este método da una buena idea de la adiposidad corporal y se utiliza mucho en estudios de sobrepeso y obesidad.

Un tema muy importante en la antropometría es la selección de las mediciones. Esto depende del propósito del estudio y de las cuestiones específicas que estén bajo consideración. Por lo tanto, es necesario que antes de la aplicación de la antropometría se haga un análisis primario, iniciando con un concepto claro del objetivo buscado, y que lleve a una elección de las mediciones necesarias para obtener una respuesta aceptable.

Según Torres (2013):

La antropometría es un método y debe ser tratado como tal, un medio para un fin y no un fin en sí mismo. Cada medición debe ser seleccionada para proveer una cantidad específica de información dentro del contexto del estudio diseñado. Por ello, ninguna batería de mediciones aislada cumplirá con las necesidades de cada estudio. La conclusión es que no es aceptable tomar mediciones por las mediciones

en sí mismas; no tiene sentido tomar un extenso número de mediciones, simplemente porque se tiene la oportunidad de hacerlo. (p. 66)

El estudio de las dimensiones del ser humano es de gran utilidad en áreas como el diseño industrial, diseño de textiles, salud, ergonomía y arquitectura, entre otras. Específicamente, en el área de Nutrición, la antropometría permite determinar objetivamente cambios en la composición corporal, estimaciones del peso ideal, seguimiento de tratamientos a largo plazo y la localización de tejido adiposo en las personas, el cual está fuertemente relacionado con alteraciones lipídicas, hipertensión arterial, diabetes y propensión a patologías cardiovasculares [2].

El proceso de medición antropométrica debe ser realizado por personas con conocimientos en el área y equipados con instrumentos especializados, tales como la báscula, el estadímetro, cintas de fibra de vidrio, plicómetro y equipos de impedancia bioeléctrica, entre otros. No obstante, la obtención de las medidas y su posterior registro es un proceso laborioso que requiere experiencia y cuidado, por lo que suele ser lento [3].

Actualmente, es posible utilizar escáneres para la obtención de superficies tridimensionales. Los escáneres 3D tienen como ventaja que pueden acelerar la obtención y registro de las mediciones, pero además el modelo generado puede ser integrado en aplicaciones CAD y optimizar la producción de artículos de empresas ubicadas en diversos sectores industriales. Por ejemplo, en el área textil los vendedores al detal pueden obtener rápidamente medidas tridimensionales de cada cliente, así como los investigadores de esta rama pueden ajustar los sistemas de medidas de la ropa de una población mediante el análisis de modelos 3D y en el área militar pueden utilizarse para la confección de uniformes en masa. A su vez, estos modelos también pueden emplearse en la industria de la animación; en la moda para pruebas de maquillaje virtual; en la escultura artística y en el diseño de productos más ergonómicos para el planeamiento de espacios de trabajo. Igualmente, los modelos 3D pueden utilizarse en el área de medicina,

ya que el modelo tridimensional del cuerpo humano puede ser útil para la simulación de cirugías ortopédicas y plásticas; en la medicina forense para el análisis y estudio de heridas, con el fin de determinar sus causas; y en el área de Ortopedia para la producción de plantillas personalizadas [4].

En el área de nutrición, diversos estudios [5] [6] han concluido que los escáneres 3D tienen el potencial de ser utilizados como herramienta en la prevención, tratamiento y monitoreo de enfermedades relacionadas con la obesidad, ya que permiten obtener una medición precisa de las dimensiones circunferenciales del cuerpo. Como ejemplos de estas enfermedades encontramos los trastornos de la conducta alimentaria (TCA), de alta incidencia en adolescentes y mujeres jóvenes. Igualmente, aquellas enfermedades psiquiátricas que se caracterizan por tener una alteración definida del patrón de ingesta o de la conducta sobre el control del peso, que produce un deterioro físico y psicosocial. En consecuencia, aparece una malnutrición que afecta a todo el organismo y al funcionamiento cerebral, lo que perpetúa el trastorno mental. Esta alteración de la conducta no debe ser secundaria a ninguna enfermedad médica o psiquiátrica. Se ha relacionado con una seria morbilidad, así como una significativa mortalidad, constituyendo un problema de salud pública, por su curso clínico prolongado y su tendencia a la cronificación. Es aquí precisamente donde las valoraciones antropométricas en esos pacientes deben ser seguidos y monitorizados.

Otro factor importante, es que se está llevando a cabo un estudio a nivel global que busca evaluar el uso de escáneres 3D en el cálculo total y por segmentos del volumen corporal, que, de acuerdo a los autores, podría convertirse en la nueva medida para determinar la composición corporal del ser humano, en lugar del Índice de Masa Corporal.

A pesar de la utilidad de los escáneres tridimensionales, su uso no se ha masificado debido al alto costo de estos dispositivos [3]. Sin embargo, gracias al avance de la tecnología, han surgido sensores 3D de bajo costo capaces de obtener

superficies en un espacio 3D. Estos sensores tienen como característica que los modelos 3D deben ser procesados o “reparados” antes de poder ser utilizados ya que poseen ruido, data irrelevante e imprecisiones. Estos defectos o artefactos pueden ser producto del sensor 3D o generados durante el proceso de reconstrucción [7]. Entre estos sensores, se encuentra el Kinect v2™ cuya función principal es el reconocimiento de gestos para la interacción y control de las consolas Xbox™ sin contacto físico, pero adicionalmente cuenta con un software que permite la reconstrucción de superficies tridimensionales.

Por lo expuesto anteriormente, se plantea el siguiente objetivo: Desarrollar un sistema prototipo para la extracción de medidas antropométricas y permitir el monitoreo de los cambios corporales en las personas en términos de sus modelos 3D, utilizando para ello un sensor Kinect v2™. Para tal fin se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Obtener la superficie del cuerpo humano haciendo uso del Kinect v2 y del SDK 2.0.
- Aplicar técnicas de post procesamiento para la reparación del modelo generado por el Kinectfusion.
- Reconstruir la superficie del modelo 3D.
- Extraer medidas a partir de puntos seleccionados por el usuario.
- Comparar los cambios corporales del paciente en cuanto a las mediciones obtenidas en los modelos 3D.

Este sistema prototipo aplicará métodos de filtrado para la reducción de los errores producto del sensor, posteriormente reconstruirá la superficie y permitirá al usuario obtener medidas antropométricas. Adicionalmente, se podrán realizar comparaciones antropométricas entre modelos 3D, así como gráficos que muestren la evolución de las mediciones de un sujeto a lo largo del tiempo. Para ello se utilizará una base de datos para el almacenamiento de las medidas y el modelo 3D asociado.

En los siguientes capítulos se abordan los tópicos involucrados para la realización de este trabajo:

- **Capítulo 2 - Trabajos Previos:** Se indicarán trabajos realizados anteriormente para la extracción de medidas antropométricas a partir de escáneres 3D, así como con sensores 3D de bajo costo.
- **Capítulo 3 - Digitalización del Cuerpo Humano:** Detalla lo relacionado al proceso de captura de la superficie utilizando un Kinect v2™ y la librería de reconstrucción Kinectfusion
- **Capítulo 4 - Post-Procesamiento del modelo 3D:** Las tareas llevadas a cabo para la reparación del modelo 3D.
- **Capítulo 5 - Mediciones Antropométricas:** Indica el proceso de extracción de las medidas antropométricas del modelo 3D.
- **Capítulo 6 - Implementación:** En este capítulo se indican las herramientas y técnicas empleadas para el desarrollo del sistema prototipo.
- **Capítulo 7 - Conclusiones y Trabajos a futuro:** Se indican las conclusiones de este trabajo y se proponen posibles trabajos a futuro.

CAPÍTULO 2 - TRABAJOS PREVIOS

Con respecto al uso de escáneres 3D como instrumento antropométrico, J.C.K Wells *et al* [8], presentó un informe acerca de su aplicación en el área de la medicina. Entre estas áreas, se menciona su utilidad para la obtención de medidas corporales y seguimiento de tratamientos contra la obesidad. De acuerdo a los autores, los modelos corporales 3D sirven para evaluar la respuesta del cuerpo a trastornos alimenticios, plan de ejercicios y problemas de adicción a las drogas. Se apoyan en la visualización de los cambios corporales a lo largo de un periodo de tiempo e indican que esta visualización es fuente de motivación en los pacientes para la continuidad de los tratamientos.

En el informe detallaron las fases involucradas en la extracción de medidas antropométricas (Fig. 2-1) y la visualización de cambios en la masa corporal de pacientes a lo largo de un periodo de tiempo (Fig. 2-2).

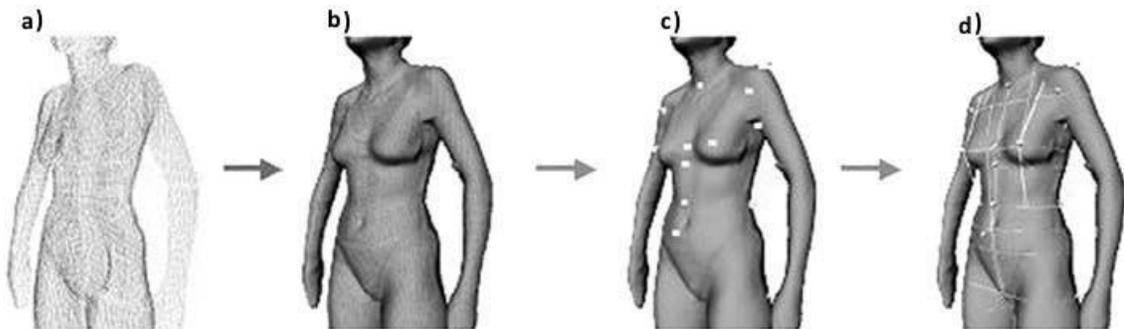


Figura 2-1 Fases para la extracción de medidas antropométricas: a) Nube de Puntos, b) Reconstrucción de la Superficie, c) Ubicación de Puntos de Referencia, d) Mediciones Lineales y circunferenciales entre los puntos de referencia [8]

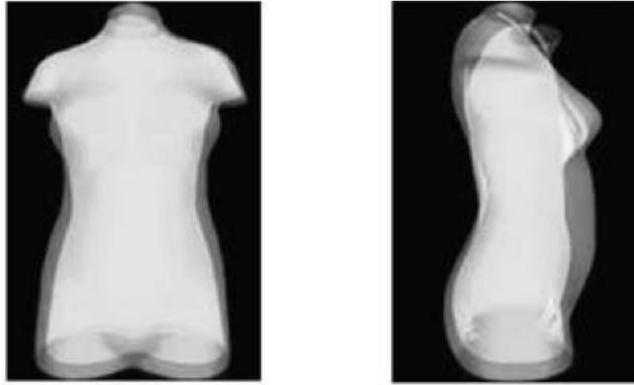


Figura 2-2 Comparación de modelos 3D para la visualización de cambios en la composición corporal [8]

Tsoli *et al.*,(2014) presentó en [9] un sistema para la deformación de modelos del proyecto CAESAR [10] con la finalidad de obtener medidas antropométricas. El proyecto CAESAR consiste en una base de datos compuesta por cientos de modelos corporales tridimensionales parametrizados y en alta resolución. La propuesta consistió en adaptar dichos modelos a la nube de puntos capturada y posteriormente extraer las medidas lineales y circunferenciales (ver Fig. 2-3). Adicionalmente, evaluaron su método comparándolo con las medidas obtenidas por el escáner comercial Anthroscan™ y por Hasler *et al.*, en [11]. Indican que su propuesta es más precisa debido a que el error promedio observado es de 1 cm, y que es más robusta ya que no es sensible al ruido presente en la nube de puntos. Finalmente señalan que su sistema puede ser usado en cualquier pose, siempre que exista un modelo CAESAR con la misma posición para poder ser aproximado.

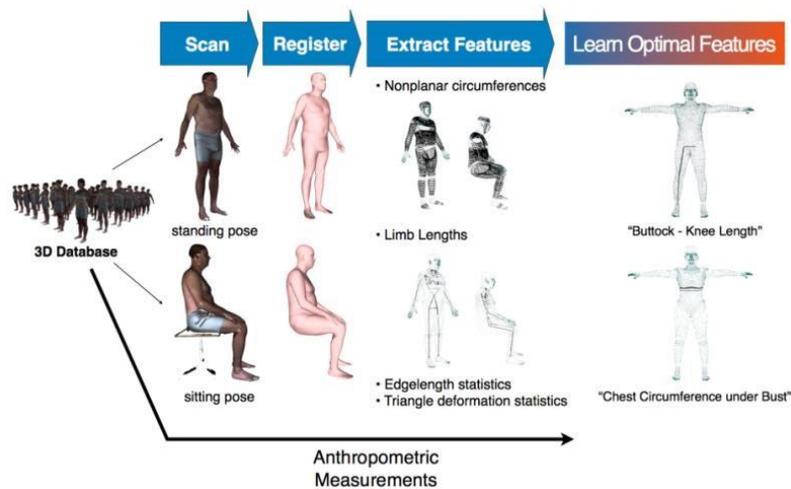


Figura 2-3 Extracción de medidas basada en modelos parametrizados [9]

C. Zancanaro y C. Lovato desarrollaron una aplicación para la extracción de medidas antropométricas y la predicción de grasa corporal en personas obesas [12] utilizando un escáner profesional. La aplicación detecta marcas realizadas previamente sobre el paciente con un marcador demográfico, y posteriormente son seleccionadas para asociarlas a un tipo de medición antropométrica, como, por ejemplo, la longitud del brazo, circunferencia de la cadera, etc. (Fig. 2-4). Las medidas son obtenidas calculando la distancia geodésica entre los puntos seleccionados, por paralelismo con respecto al piso o perpendicularidad a la línea esquelética. Finalmente indican que para la medición de las circunferencias también pueden extraerse planos perpendiculares en dirección a las extremidades, cuello o torso, para lo cual se apoyan en el esqueleto del modelo. Utilizaron un escáner que detecta 400.000 puntos con una precisión de 0.2 a 1.4 mm y concluyeron que los resultados obtenidos son igual de precisos a las mediciones hechas de forma manual.

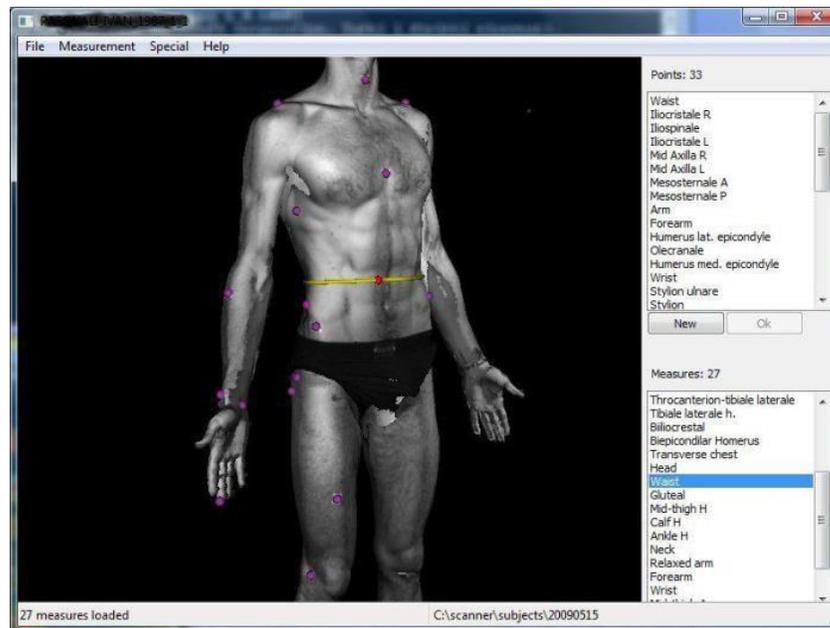


Figura 2-4 Interfaz desarrollada en [12] para la extracción de medidas antropométricas a partir de puntos anatómicos de referencia en modelos 3D previamente marcados.

En relación al uso de Kinect como escáner tridimensional, diversos autores han logrado algoritmos de reconstrucción 3D y post-procesamiento del mallado resultante a partir de la nube de puntos capturada por el Kinect [13]. Entre ellos se encuentra Velardo et al., (2011) [14], que desarrolló un sistema para la obtención de la altura, peso y género, a través de la extracción de medidas antropométricas utilizando un Kinect. Utilizan OPENNI [15], OpenCV [16] y PCL [17] como herramientas para el procesamiento de la nube de puntos y las imágenes RGB. Mediante la sustracción del fondo y un algoritmo de reconocimiento de regiones (blob tracking) lograron la segmentación del cuerpo e identificaron el *bounding volume* a través de las coordenadas de la nube de puntos resultante (ver Fig. 2-5). Obtuvieron la altura usando un algoritmo de ordenamiento para determinar las distancias entre los valores máximos y mínimos del *bounding volume*. Las dimensiones del brazo, piernas, cadera y pantorrilla son obtenidas a partir del diámetro y el largo de un cilindro

aproximado a cada una de estas partes. Los autores concluyeron que este procedimiento no es exacto, pero ofrece una aproximación aceptable a los valores reales.



Figura 2-5 Interfaz del sistema desarrollado en [14]. Al finalizar las mediciones el sistema muestra un resumen con los resultados.

Weiss, Hirshberg y Black (2011) [18], generaron modelos 3D utilizando parámetros dependientes de la forma y posición del cuerpo en distintas poses, para posteriormente adaptarlos a un modelo de la base de datos SCAPE [19], la cual está compuesta por cientos de modelos 3D parametrizados que fueron capturados a través de un escáner laser. Los autores emplean la metodología propuesta por Guan et al., (2009) [20] para la obtención de un modelo parametrizado 3D del cuerpo a partir de fotografías, pero obtienen los parámetros a partir de la información capturada por un Kinect.

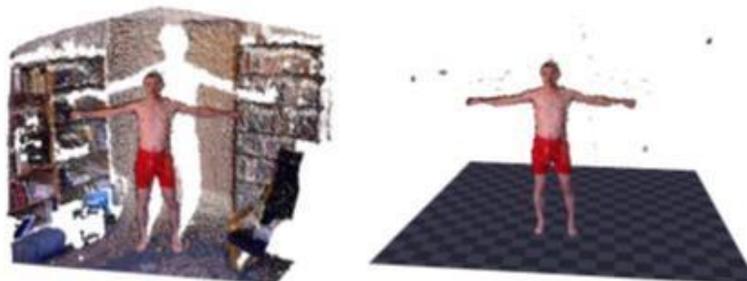


Figura 2-6 Nube de puntos con información del color y posterior separación del fondo [18].

El procedimiento consiste en separar el cuerpo con respecto al fondo, para posteriormente combinar las imágenes RGB con la nube de puntos (Fig. 2-6) desde distintas poses (Fig. 2-7), para obtener en total 48 parámetros de posición y 60 parámetros de la forma. A partir de estos, los autores adaptan modelos de la base de datos SCAPE y generan el mallado final (Fig. 1-8).

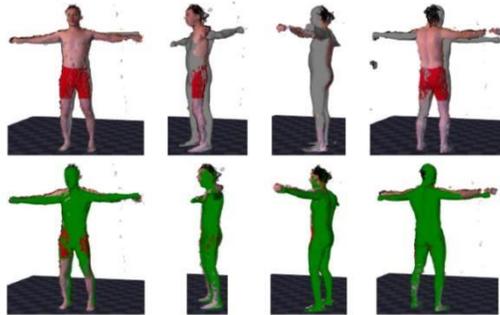


Figura 2-7 Combinación de siluetas para generar un estimado del cuerpo [18]



Figura 2-8 Mallado resultante en una nueva posición [18].

Una vez obtenido el mallado y con la finalidad de evaluar la precisión, los autores extraen diversas dimensiones basándose en una versión mejorada del método propuesto por Allen et al. [21], para la obtención de medidas a partir de los parámetros de los modelos CAESAR. Posteriormente compararon las medidas con respecto a un escáner laser y por medición manual. En el caso del escáner laser, la distancia entre los vértices del mallado varía desde 0.53 mm hasta 22.23 mm, con una media de error de 10.17 y 9.91 milímetros. En cuanto a la precisión del método, se extraen las dimensiones lineales del largo del brazo y desde el cuello a la cadera, y las circunferencias del pecho, muslo y cadera, y son comparadas con respecto a un escáner laser, obteniendo un error promedio entre 2 y 3 centímetros. Los autores concluyen que se logró obtener un modelo 3D con una precisión aceptable a un escáner láser y a un costo mucho menor, aunque el tiempo de procesamiento y optimización es de 65 minutos por modelo.

Jing Tong et al. (2012) [22] presentó un sistema para escanear cuerpos humanos usando una tabla giratoria y tres sensores Kinect: uno para la zona superior, otro para la zona inferior y el tercero para la zona intermedia en dirección opuesta a los anteriores. El sistema consiste en crear una aproximación de una plantilla a partir de la primera toma obtenida, la cual será deformada con respecto a la siguiente toma para imitar la deformación y así utilizar esta información para llevar a cabo el proceso de registro por pares de las tomas (*pairwise registration*). Posteriormente se ejecutan algoritmos de alineación global para distribuir los errores espaciales y cerrar el mallado en las áreas donde las capturas no hayan sido alineadas correctamente, debido a acumulación de errores o por oclusión de partes del cuerpo (ver Fig. 2-9).

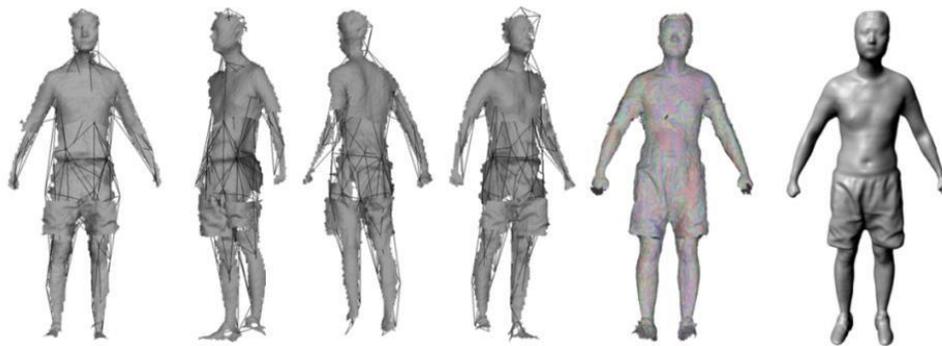


Figura 2-9 Alineamiento de capturas desde distintos ángulos para la obtención del mallado final [22].

Para validar la precisión, los autores calculan seis medidas biométricas y las comparan con las medidas obtenidas de forma manual. El error promedio en centímetros varía según el tipo de medición: la distancia desde el cuello a la cadera fue de 2.5 cm, el ancho entre los hombros fue de 1.5 cm, el largo de brazos y piernas fue de 3 y 2.1 cm respectivamente, la circunferencia de la cintura 6.2 cm y la cadera de 3.8 cm. El tiempo de procesamiento fue de 6 minutos aproximadamente, en específico, la etapa de preparación de la data fue de 1.6 minutos, registro de las imágenes 3.8 minutos y reconstrucción del modelo 0.5

minutos. De acuerdo a los autores, la precisión es similar la obtenida en [18] y de mucha mayor rapidez.

Posteriormente Cui, Chang, Noil y Stricker (2012) desarrollaron un escáner de cuerpo completo con un sensor Kinect [23], para lo cual la persona debe ubicarse a dos metros del dispositivo. En este trabajo los autores indicaron igualmente que los principales retos son la baja resolución y el ruido, por lo que desarrollaron un algoritmo de súper-resolución de las tomas. El registro es llevado a cabo a través de una combinación automática de las formas rígidas y no- rígidas del cuerpo y el mallado fue generado con el método de reconstrucción de Poisson [24]. En la Figura 2-10 se puede apreciar el flujo de los procesos.

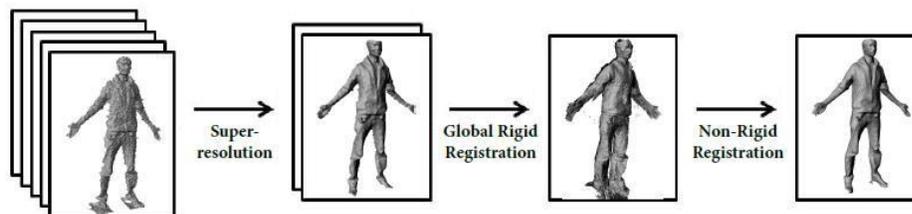


Figura 2-10 Etapas del sistema propuesto por Cui, Chang, Noil y Stricker (2012)

Particularmente, el proceso de súper resolución está basado en el trabajo desarrollado por Cui *et al.*, en [25] que a su vez es una versión mejorada del método de súper resolución LidarBoost [26]. El registro de partes rígidas se basa en los trabajos de Myronenko [27] y de Cui *et al.* [28], quienes formulan el registro como un problema de estimación de máxima verosimilitud (maximum-likelihood). El registro no-rígido es llevado a cabo mediante el uso de un modelo articulado descrito por Chang y Zwicker en [29] que utiliza las relaciones de vecindario entre las partes rígidas del cuerpo para definir uniones entre ellas con 3 grados de

libertad, y formular el registro entre secuencias mediante un algoritmo de grafos dinámicos .

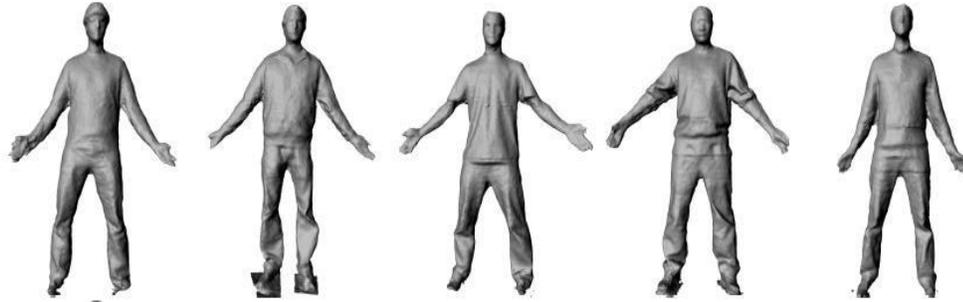


Figura 2-11 Resultados obtenidos de 5 personas escaneadas por Cui, Chang, Noil y Stricker (2012) en [25].

Los resultados de este trabajo demostraron que es posible lograr un mayor nivel de detalle (Fig. 2-11) utilizando un Kinect conjuntamente con técnicas de súper resolución de imágenes, ya que la precisión se aproxima a la obtenida con 3 Kinect [22]. Sin embargo, el tiempo de procesamiento fue de casi 14 minutos, utilizando un procesador Intel(R) Xeon 2.67GHz con 12 GB de memoria.

Newcombe et al., (2011) presentó el KinectFusion [30], librería desarrollada por Microsoft para la generación automática de modelos 3D, que se basa en la subdivisión del volumen escaneado en voxels de tamaño configurable (a mayor tamaño menor precisión). Está compuesta por cuatro procesos: (1) Medición de la Superficie (Surface Measurement), que se encarga de generar un mapa de vértices y de normales a partir de los datos de profundidad obtenidos del Kinect; (2) Actualización de la superficie reconstruida (Surface Reconstruction Update) el cual integra los datos de profundidad con el modelo actual, a través del método de representación volumétrica Truncated Signed Distance Function (TSDF); (3) Predicción de la Superficie (Surface Prediction) que se encarga de rastrear la superficie actual mediante el raycasting de la escena con la nueva toma y así obtener una predicción acerca de donde será alineada; y (4) Estimación de la Pose del Sensor (Sensor Pose Estimation) que consiste en aplicar una alineación

multi-escala usando el algoritmo ICP entre la superficie predicha y la posición actual del sensor.

De acuerdo a los autores, el KinectFusion está enfocado en la reconstrucción y visualización inmediata de grandes escenas en tiempo real (ver Figura 1-12), por lo que sus algoritmos son implementados en el GPU.



Figura 2-12 Reconstrucción de grandes escenas con KinectFusion [30].

Con respecto a la precisión del KinectFusion, Stephan Meister et al., (2012) [31] llevó a cabo un experimento que consistió en comparar modelos generados por un escáner de alta resolución con los obtenidos por el KinectFusion. Uno de estos modelos fue una estatua de madera de 40 cm, en donde se observó que el 75% de los puntos tienen un error menor a 10mm. Otro modelo fue una caja de 1x1x0.5 metros diseñada especialmente para la evaluación de cámaras de profundidad, para la que utilizaron voxels de 2.7 mm aproximadamente y lograron el mismo nivel de precisión observado en la estatua. Sin embargo, observaron errores en las dimensiones de las superficies con ángulos mayores a 90 grados. Finalmente, evaluaron una oficina de 6 x 4 x 2.5 metros y observaron que el nivel de precisión disminuye a 80mm aproximadamente (respecto a la precisión observada en la caja y la estatua). Los autores concluyeron que el

KinectFusion alcanza el máximo nivel de precisión configurando voxels con el menor volumen posible. Por lo tanto, recomiendan utilizar la configuración de 0.8 cm³ por voxel para obtener niveles de precisión cercanos a los 10 mm y escanear a un metro de distancia.

Los autores Silva J., Gomes, Agüero, Bellon y Silva L. (2013) presentaron en [32] un sistema que combina dos procesos: el modelado de la escena en baja resolución y en tiempo real, y el otro modelado de alta definición, obtenido a través de la súper resolución y filtrado de las tomas.

Para la generación del modelo de baja resolución, los autores implementaron la versión de código abierto de KinectFusion desarrollada por PCL (Point Cloud Library) [17]. En cuanto al modelo de alta resolución, se usó un filtro espacio-temporal (spatio-temporal) desarrollado por Richards et al. [33]. Posteriormente las tomas son pre-alineadas con el procedimiento SURF [34] seguido por dos fases del algoritmo ICP. La reconstrucción del mallado es una combinación de dos técnicas de integración volumétrica: VRIP y Consensus Surface. Los huecos del mallado son corregidos con el algoritmo de Difusión Volumétrica [35]. Finalmente el mallado es generado mediante el algoritmo de Marching Cubes [36].

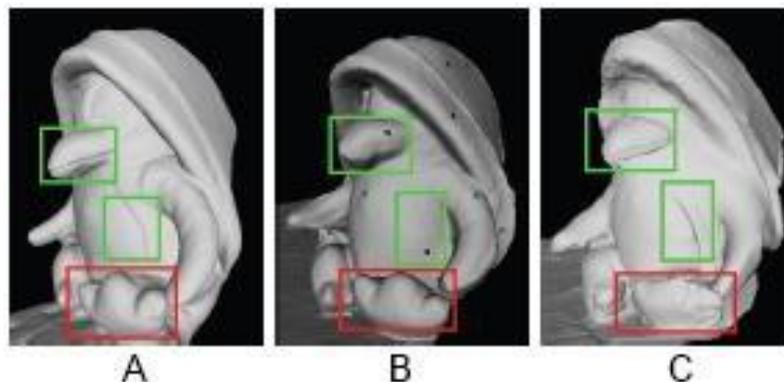


Figura 2-13 Modelo 3D capturado por (A) un escáner Minolta, (B) KinectFusion y (C) resultado en [32].

Para evaluar la precisión, los autores determinaron la distancia del error entre el KinectFusion y su propuesta mediante el método de mínimos cuadrados, y concluyeron que su método supera ligeramente al KinectFusion por 10 mm. aunque indicaron que este método por sí solo no es suficiente para validar los resultados. En la Figura 2-13 se puede observar la comparación de los modelos generados por un escáner de alta resolución, KinectFusion y la propuesta de los autores. El modelo generado por los autores fue obtenido a partir de datos de profundidad obtenidos a una resolución de 640x480 y una cámara RGB de resolución de 1066x833. En su trabajo, 1000 tomas fueron obtenidas y procesadas, de las cuales 100 fueron usadas para la generación del modelo definitivo. Por último, el tiempo de procesamiento fue de 10 minutos.

CAPÍTULO 3 - DIGITALIZACIÓN DEL CUERPO HUMANO

Existen una gran cantidad de escáneres tridimensionales, así como la tecnología que estos utilizan [37]. Entre estas tecnologías encontramos la estereofotogrametría y fotogrametría, cuyo principio consiste en la obtención de datos 3D a partir de fotografías pero requieren métodos complejos para el procesamiento de las imágenes [4]. Otro tipo de tecnología es el láser para la emisión de un pulso de luz que al rebotar en la superficie es capturado por un sensor para calcular el tiempo de vuelo y así determinar la distancia entre el sensor y la superficie. Por último, podemos mencionar los que se basan en luz estructurada y se fundamentan en la proyección y el análisis de un patrón de luz emitido por un proyector LCD para definir la forma de la superficie. Sin embargo, el láser y la luz estructurada requieren de equipos costosos y difíciles de transportar [3].

Recientemente han sido comercializados sensores RGB-D. Esta tecnología se basa en la combinación de imágenes RGB y de mapas de profundidad para generar modelos tridimensionales. Fue desarrollada por PrimeSense, y está siendo comercializada en los sensores Asus Xtion PRO y Kinect de Microsoft [38].

3.1 Kinect

Kinect fue anunciado por primera vez el 1 de junio de 2009 en la Electrónica Entertainment Expo como Project Natal. El nombre en clave «Proyecto Natal» responde a la tradición de Microsoft de utilizar ciudades como nombres en clave. Alex Kipman, director de Microsoft, quien incubó el proyecto, decidió ponerle el nombre de la ciudad brasileña Nata como un homenaje a su país de origen y porque la palabra natal significa “de o en relación al nacimiento”, lo que refleja la opinión de Microsoft en el proyecto como “el nacimiento de la próxima generación de entretenimiento en el hogar” [39].

El dispositivo cuenta con una cámara RGB, un sensor de profundidad, un micrófono de múltiples matrices y un procesador personalizado que ejecuta el software patentado, que proporciona captura de movimiento de todo el cuerpo en 3D, reconocimiento facial y capacidades de reconocimiento de voz. En la siguiente figura se pueden observar los componentes del Kinect:

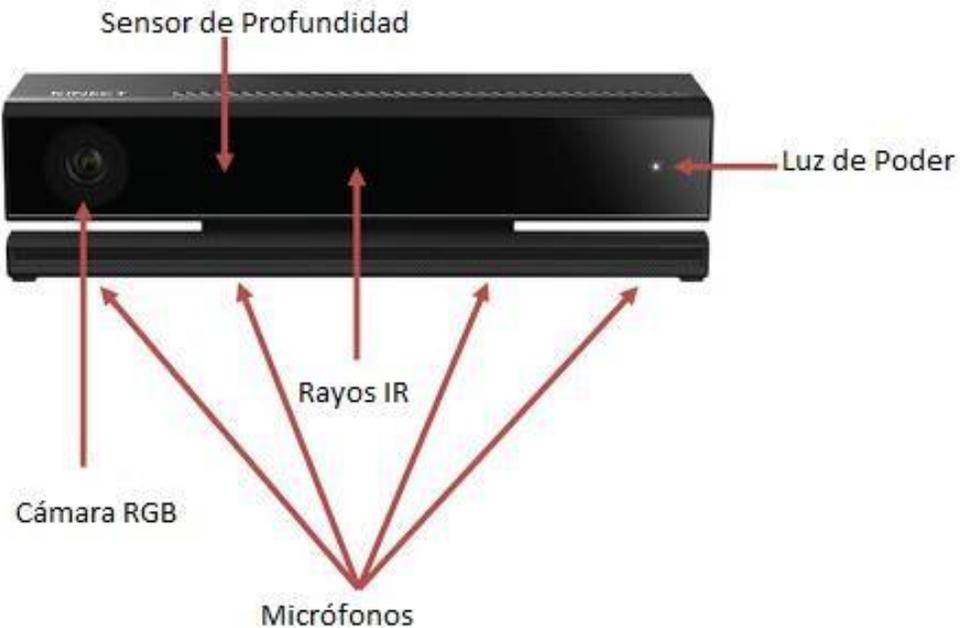


Figura 3-1 Componentes del Kinect v2

El Kinect v2 está basado en el principio de tiempo de vuelo (ver Figura 3-2) para determinar la distancia entre el sensor y la escena. Una luz infrarroja ilumina la escena, esta es reflejada por la superficie, y el tiempo de vuelo para cada pixel es registrado por la cámara infrarroja. Internamente, utiliza modulación de onda y detección de fase para estimar la distancia a la superficie.

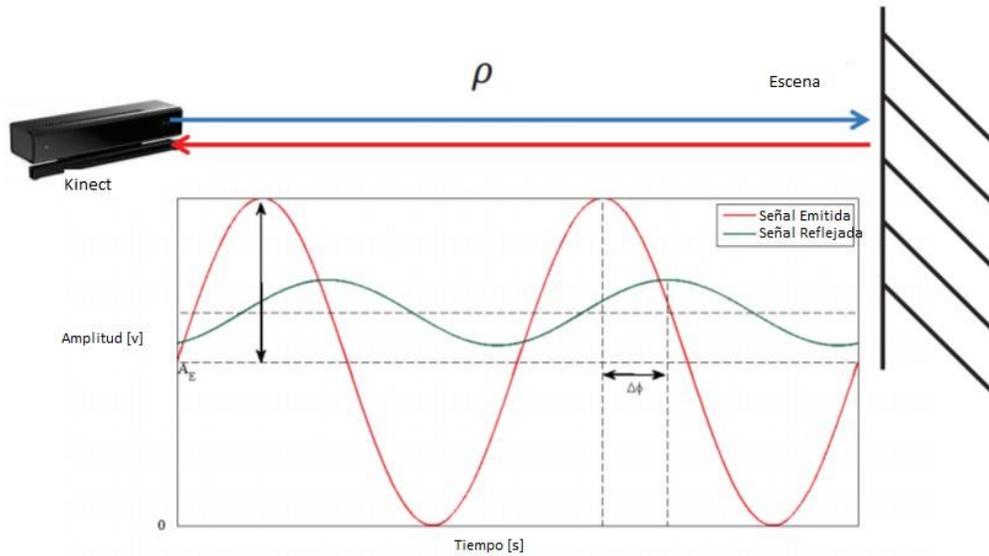


Figura 3-2 Principio de funcionamiento de una cámara de tiempo de vuelo (TOF).

El Kinect cuenta con un gran campo visual el cual le permite identificar la distancia entre el sensor y la escena, con una resolución de un centímetro. Además, puede detectar su altura y grosor con una varianza de 3 milímetros (Figura 3-4). En la siguiente figura se pueden observar las especificaciones técnicas de funcionamiento.

Cámara de Profundidad	Resolución	512 x 424 px
	Campo de Visión	70.6° x 60.0°
	Resolución angular	0.14° /px
	Rango de Operatividad	0.5-4.5 m
Cámara RGB	Resolución	1920 x 1080 px
	Campo de Visión	84.1° x 53.8°
Cuadros por segundo		30 Hz
Latencia mínima		20 ms
Tipo de Obturador		Obturador Global
Dimensiones en mm		249 x 66 x 67

Peso	970 g
Tipo de Conexión	USB 3.0
Voltaje	12 v DC
Consumo	15 W

Figura 3-3 Especificaciones técnicas del Kinect

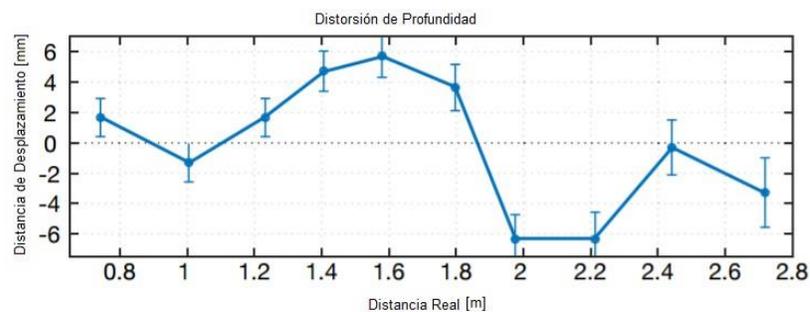


Figura 3-4 Error de precisión del sensor de profundidad

Estas son algunas de las características claves:

- **Secuencias de sensor RAW:** Accede a las secuencias de datos RAW desde el sensor de profundidad, el sensor de la cámara de color y la matriz de micrófono de cuatro elementos que permiten a los desarrolladores aprovechar las secuencias de bajo nivel que se generan por el sensor de Kinect.
- **Seguimiento de esqueleto:** La capacidad de realizar un seguimiento de la imagen del esqueleto de una o dos personas que se desplazan dentro del campo de vista de Kinect facilita crear aplicaciones controladas por el gesto.
- **Capacidades de audio avanzadas:** Las capacidades de procesamiento de audio incluyen la cancelación del eco y la represión de ruido acústico

sofisticada, la formación de haz para identificar la fuente de sonido actual y la integración con el reconocimiento de voz de la API de Windows.

- **Documentación y código de muestra:** Incluye más de 100 páginas de documentación técnica. Además de los archivos de ayuda integrados, la documentación incluye tutoriales detallados.
- **Soporte para modo de distancias cortas:** Por defecto Kinect funciona tal como lo hace en el Xbox 360, pero Kinect para Windows tiene un modo adicional, llamado modo cercano que permite trabajar a distancias menores (Figura 3-5).

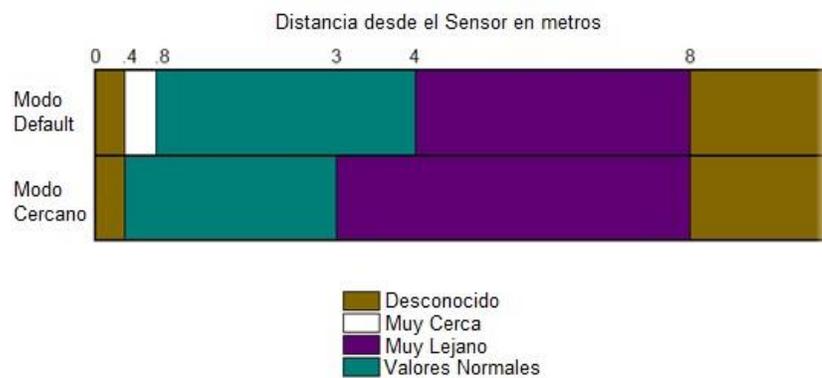


Figura 3-5 Rango de distancias admitidas por el sensor Kinect [10]

- **Reconocimiento de gestos de la mano:** A cortas distancias es posible reconocer con más detalle otro tipo de gestos por ejemplo los realizados con la mano para hacer una tarea específica.

3.2 Kinect Fusion

Se trata de un software capaz de utilizar la cámara del Kinect a modo de escáner tridimensional en tiempo real (Figura 3-6). Permite al usuario escanear toda una habitación y su contenido en cuestión de segundos. A medida que el espacio se explora, se revelan nuevos puntos de vista de los objetos en la escena. Estos puntos de vista se integran entre sí, produciendo modelos 3D, texturas, mapas de relieve, profundidad y acaba generando escenas totalmente interactivas [40].



Figura 3-6 Reconstrucción de una toma, mapas de normales (centro) y Phong-shaded (gris)

El modelo tridimensional de la escena puede alcanzar hasta unos 8 metros cúbicos, se compone de superficies densas (con un número alto de puntos) y lisas (suavizadas para disminuir la presencia de ruido). El alto número de muestras se obtiene mediante la integración de los datos de profundidad del Kinect desde múltiples puntos de vista (Figura 3-7). La integración utiliza la postura de la cámara para rastrear su ubicación y orientación a medida que se mueve el sensor. Así se conoce la posición de cada fotograma y cómo se relaciona con los otros, y estos múltiples puntos de vista de los objetos o del entorno pueden fusionarse [41].

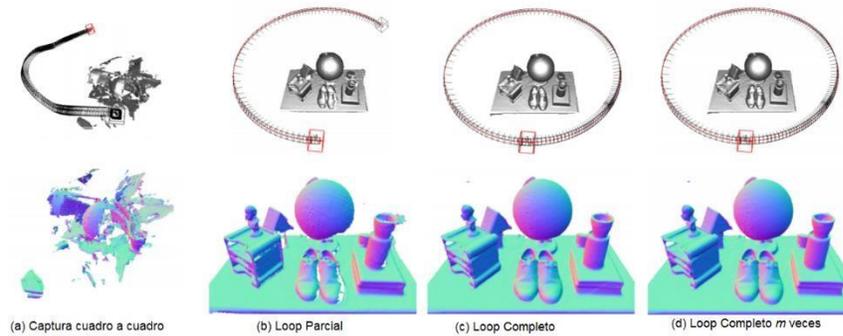


Figura 3-7 Reconstrucción de una escena mediante el movimiento circular del sensor

Específicamente, el proceso de reconstrucción está compuesto por 4 procesos [41] que pueden apreciar en la siguiente figura:

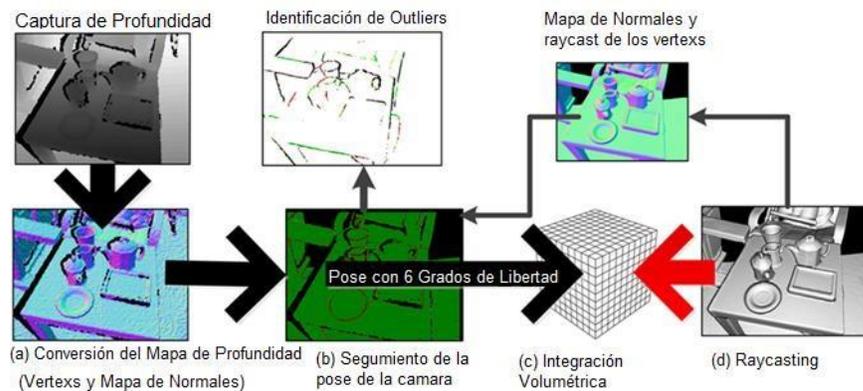


Figura 3-8 Proceso de Reconstrucción [11]

- La primera etapa es la conversión del mapa de profundidad. Aquí se toma la profundidad cruda del Kinect y la convierte en dimensiones de punto flotante en milímetros, seguida por una conversión a una nube de puntos orientada en el sistema de coordenadas de la cámara, utilizando para ello las normales de los vértices (vertexs) de la superficie.

- La segunda etapa calcula la posición global de la cámara (su ubicación y orientación) y con ella determina el movimiento del sensor en cada cuadro utilizando un algoritmo de alineación iterativa (IPC), por lo que el sistema siempre conoce la postura del sensor actual en relación con el cuadro inicial. Para ello se utilizan dos algoritmos: El primero es *NuiFusionAlignPointClouds*, que es utilizado para alinear la nube de puntos actual con la nueva nube de puntos o independientemente (por ejemplo, para alinear las tomas de dos sensores que visualizan la misma escena). El segundo es *AlignDepthToReconstruction* que proporciona resultados de seguimiento de cámara más precisos cuando se trabaja con un volumen de reconstrucción; sin embargo, es menos robusto a objetos que se mueven en la escena. Si el seguimiento se rompe en este escenario, vuelva a alinear la cámara con la última posición rastreada y el seguimiento debería continuar normalmente.
- La tercera etapa es la fusión (o "integración") de los datos de profundidad de la pose del sensor en una única representación volumétrica del espacio alrededor de la cámara. Esta integración de los datos de profundidad se realiza por cuadro, de forma continua, con un promedio de funcionamiento para reducir el ruido y permite manejar algún cambio dinámico en la escena (como pequeños objetos que se eliminan o agregan). Como el sensor ve la superficie desde puntos de vista ligeramente diferentes, se pueden crear huecos o agujeros donde no hay datos de profundidad. Sin embargo, estos huecos pueden ser cubiertos al ubicar el sensor desde un ángulo que permita capturar la superficie.
- La visualización del volumen es a través de un *raycast* de los vértices (vertexs) proyectado desde la pose del sensor, en el cual, la nube de puntos resultante es sombreada para una imagen visible renderizada del volumen de reconstrucción 3D.

El volumen de la reconstrucción se compone de pequeños cubos en el espacio, denominados *voxels*. La resolución de un *voxel* en el mundo real puede alcanzar hasta 1-2 milímetros. Esta resolución se puede definir en la estructura `NUI_FUSION_RECONSTRUCTION_PARAMETERS`, que es utilizada por la función `NuiFusionCreateReconstruction`. La resolución máxima del *voxel* depende de la cantidad de memoria disponible en el computador. El miembro `voxelsPerMeter` escala el tamaño que representa un *voxel* en el mundo real. Por ejemplo, un volumen cúbico de $384 \times 384 \times 384$ *voxels* puede representar un cubo de 3m en el mundo real si establece el miembro `voxelsPerMeter` en 128vpm (como $384/128 = 3$, donde cada *voxel* es $3\text{m} / 384 = 7.8\text{mm}^3$), o un cubo de 1.5m si se configura a 256vpm ($384/256 = 1.5$, donde cada *voxel* es $1.5\text{m} / 384 = 3.9\text{mm}^3$). Esta combinación de número de *voxels* en los ejes x, y, z y *voxels* por metro permite especificar un volumen con diferentes tamaños y resoluciones. En las GPU's, el bloque máximo de memoria contiguo que normalmente se puede asignar es de aproximadamente 1 GB, lo que limita la resolución de reconstrucción a aproximadamente 640^3 (262144000 *voxels*). Si se necesita una resolución muy alta, múltiples volúmenes o múltiples dispositivos pueden ser una posible solución.

En cuanto a la fiabilidad de los modelos generados por el Kinect Fusion, en [42] se llevó a cabo una serie de pruebas para evaluar el nivel de precisión que pueden alcanzar estos modelos y adicionalmente se detallan las condiciones para obtener modelos óptimos. Determinaron que es posible obtener detalles de hasta 10 milímetros en volúmenes de 1m^3 , y a medida que va aumentando el área escaneada hasta el máximo de 8m^3 , la precisión desciende hasta 80 milímetros. Concluyen que Kinect Fusion es adecuado para la rápida adquisición de escenas de tamaño mediano, acercándose a la precisión de un escáner LiDAR [42].

CAPÍTULO 4 - POST PROCESAMIENTO DEL MODELO 3D

El post procesamiento de modelos 3D está compuesto por algoritmos de reparación para optimizar y remover errores de una superficie digitalizada para producir un modelo óptimo para el procesamiento a futuro [43]. Estos errores pueden ser producto del sensor, por la reflexión de objetos externos, movimientos bruscos durante el proceso de captura [7].

Un algoritmo de reparación se define como el proceso que toma de entrada una superficie poligonal M y produce una versión mejorada M' , en la cual se han eliminado defectos o fallas específicas. Esta definición no excluye aquellos métodos que puedan introducir nuevos errores en el momento de corregir los anteriores [14].

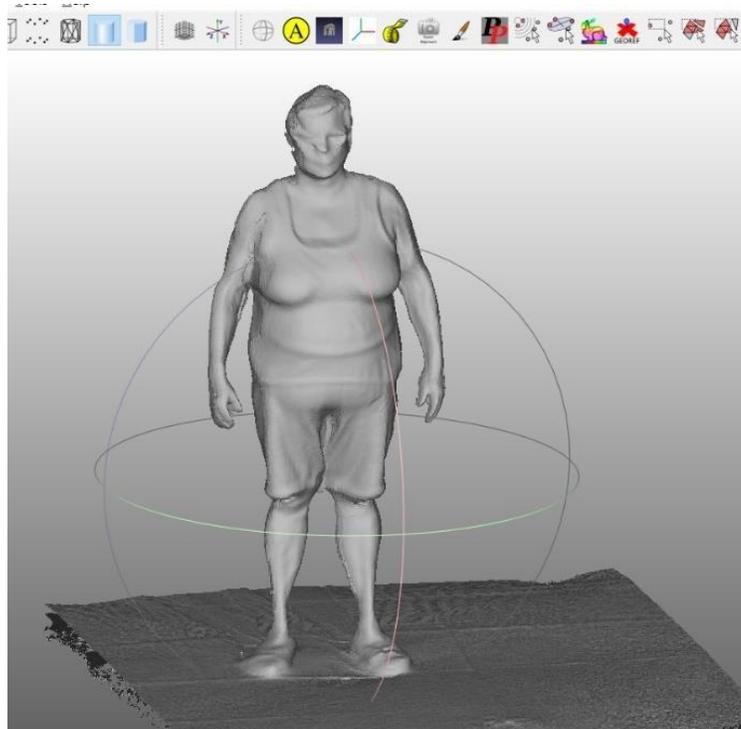


Figura 4-1 Escena escaneada con el Kinect, visualizada en Meshlab™

Para visualizar el modelo generado por el Kinectfusion, se utilizó Meshlab™ (Figura 4-1), encontrando los siguientes errores:

a) Valores atípicos

Los valores atípicos (Figura 4-2) se definen como aquellos que se desvían en gran magnitud respecto al resto de las muestras, generando sospecha de que haya sido generada por otro mecanismo [Hawkins 1980].

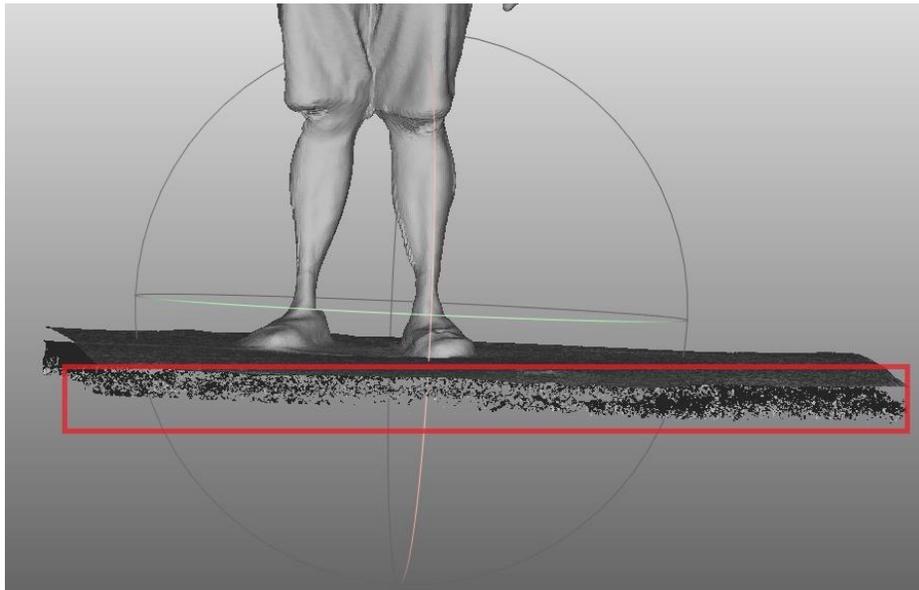


Figura 4-2 Presencia de valores atípicos en el modelo.

b) Ruido

Se denomina ruido como aquellas imprecisiones en el mallado, las cuales pueden ser producto del proceso de escaneo y combinación de las tomas (Figura 4-3). Este ruido afecta de manera directa el procesamiento del mallado, por lo que debe ser minimizado. Para disminuir o eliminar este ruido, se utilizan filtros de suavizado que buscan eliminar las altas frecuencias presentes en una función f .

El análisis de la señal de una función, puede ser llevado a cabo utilizando la transformada de Fourier ya que permite la implementación eficiente de filtros de paso bajo y de convolución.

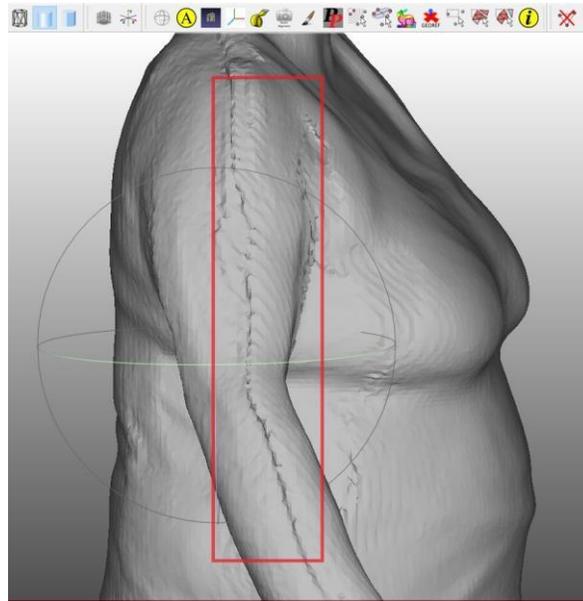


Figura 4-3 Ruido presente en el modelo

c) Vértices Duplicados

Los vértices duplicados consisten en vértices muy cercanos entre sí, superando el rango de tolerancia mínima. Estos vértices se pueden generar por errores en el proceso de captura, uso de escalas muy pequeñas o a través de datos cargados con una precisión distinta al origen.

d) Polígonos de Área Cero

Polígonos cuyos vértices coinciden en el mismo punto o polígonos con dos bordes en la misma posición que forman una línea, polígonos con ángulos internos cercanos a π o bordes de longitudes cercana a cero.

e) Huecos

Los huecos son producto de la falta de data en algunas regiones del mallado (Figura 4-4), quizás debido a la oclusión de estas partes por otras durante el proceso de escaneo.

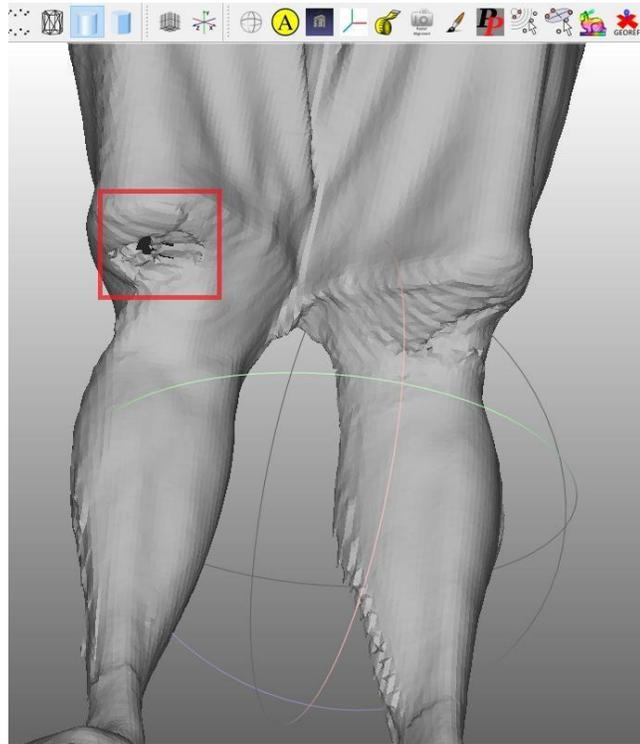


Figura 4-4 Presencia de huecos en el modelo

f) Inconsistencia en las normales

Las normales no presentan consistencia en cuanto a la orientación de la superficie.

Debido a estos errores, solo utilizamos la nube de puntos del modelo generado por el KinectFusion, es decir, la conectividad de los triángulos es ignorada y los algoritmos de reparación serán aplicados sobre el conjunto de vértices que conforman la superficie (Figura 4-5).

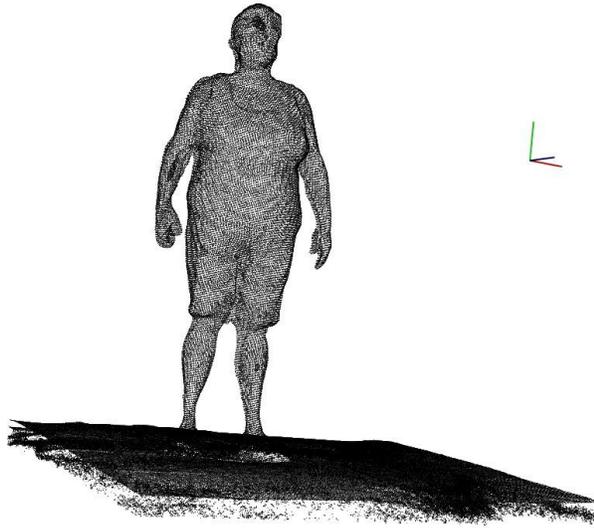


Figura 4-5 Nube de puntos extraída de la captura

Una vez capturada la escena, el post-procesamiento de la nube de puntos está compuesto por los siguientes procesos [44]: 1) Reducción de vértices 2) Filtrado de valores atípicos 3) Filtrado de geometría no relevante 4) Orientación de las normales y 5) Reconstrucción de la superficie.

4.1 Reducción de Vértices

Como se mencionó anteriormente, los modelos producidos por el KinectFusion están compuestos por millones de vértices y polígonos (Figura 4-6). Estos modelos generalmente no son prácticos en cuanto al tiempo de renderizado y a la cantidad de memoria requerida. Es por ello que se deben disminuir la cantidad de puntos antes de proceder con la reparación del modelo.

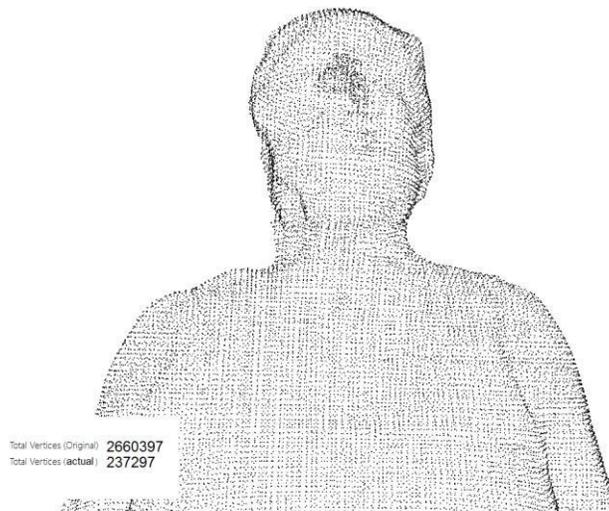


Figura 4-6 Nube de puntos simplificada

El filtro de reducción se encarga de disminuir la cantidad de vértices presente en el modelo, mediante el cálculo del centroide de un conjunto de vértices, definidos dentro de un voxel. En la siguiente figura se puede observar el funcionamiento del filtro:

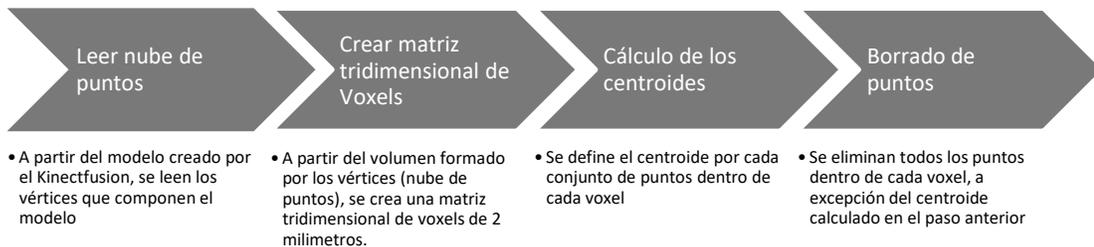


Figura 4-7 Pasos para la reducción de vértices en el modelo

Una alternativa más rápida a este procedimiento, es aproximar los puntos al centroide del voxel, sin embargo, esta opción no representa la superficie con la misma precisión.

4.2 Filtrado de valores atípicos

Existen diversos métodos para determinar que valores forman parte de un conjunto atípico, entre los cuales se encuentran: pruebas estadísticas, basadas en la profundidad y la desviación de las muestras, así como también en modelos basados en la proximidad espacial del conjunto de observaciones.

Las pruebas estadísticas se basan en asignar una distribución conocida (por ejemplo, Gauss) al conjunto, para posteriormente calcular los parámetros bajo la premisa de que toda la data ha sido generada por esa distribución, y finalmente, reconocer los valores atípicos en base a la baja probabilidad de haber sido generada por dicha distribución. Se podría definir una baja probabilidad como aquella q que se desvíe tres o más veces con respecto a la media. Igualmente se pueden encontrar valores atípicos utilizando un método basado en la profundidad de las muestras. Para ello, se organizan con un convex hull (Figura 3-8) y se asume que los valores atípicos se encuentran en las capas más externas del conjunto.

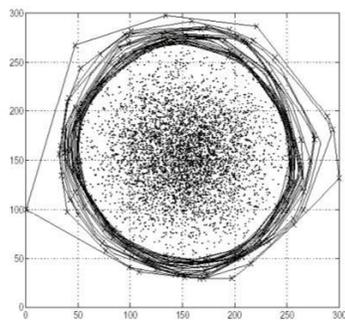


Figura 4-8 Convex hull de valores atípicos en una muestra

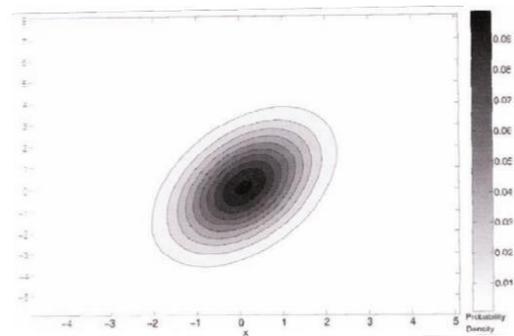


Figura 4-9 Representación por densidad de valores atípicos en una muestra

Los métodos basados en la desviación de las muestras, determinan los valores atípicos como aquellos que no concuerdan con las características generales de ese conjunto, por ejemplo, si la variación del conjunto se minimiza al remover dichas muestras. También se pueden utilizar modelos basados en la

distancia con respecto a los vecinos, asumiendo que los valores normales serán aquellos que contengan un vecindario denso, y, por el contrario, aquellos que tengan baja densidad se consideran atípicos.

Finalmente, existen métodos basados en la comparación de densidad de una muestra (Figura 4-10) con la densidad de sus vecinos locales. El valor de la densidad proviene de la suposición de que la densidad alrededor de una muestra debe ser similar a la densidad de sus vecinos, o que la densidad alrededor de un valor atípico es considerablemente distinta a la de sus vecinos.

Es importante determinar el método correcto ya que cada método puede producir resultados distintos, debido a la utilización de diferentes suposiciones, niveles de resolución (local/global) y tipo de medición.

4.3 Filtrado de geometría no relevante

Con la finalidad de optimizar el procesamiento del modelo, es necesario excluir toda la información no relevante al modelo del paciente. Para ello, es posible utilizar un paralelepípedo (Figura 4-10) cuyos lados pueden ser ajustados para delimitar el modelo del cuerpo y eliminar todos los puntos que se encuentren fuera del área delimitada.

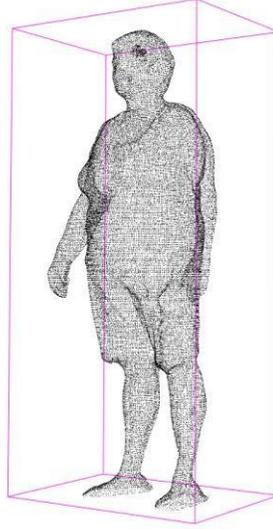


Figura 4-10 Filtrado de geometría no relevante

4.4 Orientación de las normales

La definición de las integrales de superficie de campos vectoriales involucra el concepto de superficies orientadas o superficies orientables, que son superficies en las que se pueden identificar dos caras o lados; en aquellas superficies en las que se identifica un solo lado se denominan como superficies no orientables. Una superficie S es una superficie orientada si existe, para un mismo punto (x, y, z) perteneciente a la superficie S , dos vectores normales n_1 y n_2 , uno por cada una de las caras de la superficie S , que son colineales y opuestos entre sí, es decir, $n_2 = -n_1$. En donde n_1 es una función continua para todos los puntos (x, y, z) ubicados sobre la superficie, es decir, que el vector n_1 está variando continuamente sobre toda la superficie S , excepto, quizás, en un número de puntos en su frontera, puntos que se denominan como puntos singulares de la superficie; por tanto se definen dos orientaciones para cualquier superficie orientable, una al tomar un vector unitario n_1 sobre un punto (x, y, z) perteneciente a la superficie S , y otra cuando se toma al vector unitario n_2 , como se muestra en la Figura 4-11. La elección de la orientación de una superficie, es

para permitir la distinción entre una dirección y la otra, ya que una de ellas se va a identificar como la orientación positiva de la superficie (Figura 4-11).

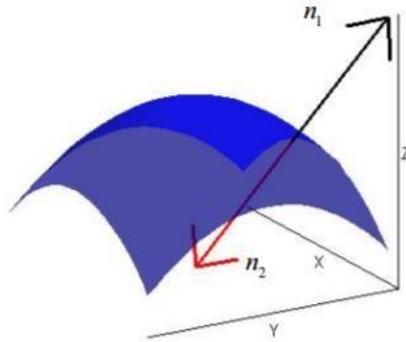


Figura 4-11 Superficie Orientada [16]

4.5 Reconstrucción de la Superficie

Una vez corregidos los errores producidos durante la adquisición de la superficie, se obtiene una nube de puntos que cumple con las condiciones óptimas [44] de reconstrucción a través de la Triangulación de Delaunay [45]. Este método se define como una red que cumple la condición de Delaunay, la cual dice que la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red no debe contener ningún vértice de otro triángulo.

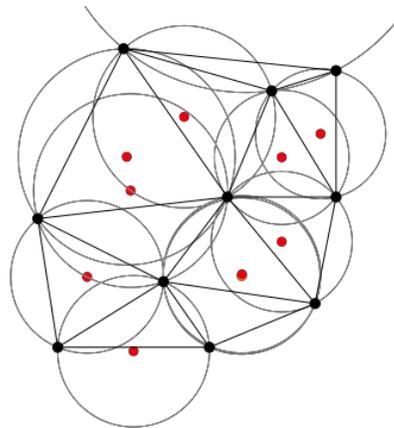


Figura 4-12 Condición de Delaunay, cada triángulo posee el circuncírculo y su centro [45]

La triangulación de Delaunay de un conjunto de puntos cumple las siguientes propiedades:

- La frontera externa de triangulación forma la envolvente convexa del conjunto de puntos.
- El ángulo mínimo dentro de todos los triángulos está maximizado, es decir, se evita obtener resultados con ángulos demasiado agudos.
- Como consecuencia de lo anterior, los triángulos generados en una triangulación de Delaunay tienden a ser lo más equiláteros posible. Esto es debido a que todo triángulo no equilátero siempre tiene algún ángulo menor que 60° .
- La triangulación de Delaunay es unívoca salvo en casos donde los vértices presentan una alineación perfecta. Por ejemplo, en caso de que los vértices estén situados en una rejilla equidistante, o sean vértices de un polígono regular. En estos casos, aparecerán circunferencias circunscrita con más que tres vértices y será necesario decidir entre varias posibles decisiones.
- Todas las aristas del grafo del vecino más cercano (*nearest neighbor graph*) pertenecen a algún triángulo de la triangulación.
- Como consecuencia de lo anterior, cada punto del conjunto de entrada tendrá una arista que lo une con su punto más cercano.
- La triangulación de Delaunay y el diagrama de Voronoi de una serie de puntos son grafos duales, por lo que la construcción de uno es trivial a partir del otro. En este sentido, los circuncentros de los triángulos de Delaunay coinciden con los vértices de las regiones del diagrama de Voronoi. Dos vértices del diagrama de Voronoi estarán conectados si sus triángulos de Delaunay correspondientes son vecinos entre sí.
- En un grafo construido a partir de las aristas de la triangulación de Delaunay, el camino más corto entre dos puntos nunca será mayor que veces la distancia euclídea entre ellos.

La propiedad de la triangulación de Delaunay de maximizar los ángulos interiores de los triángulos es especialmente práctica en geometría computacional porque evita errores de redondeo que pueden aparecer al realizar cálculos con triangulaciones arbitrarias donde pueden aparecer ángulos demasiado pequeños.

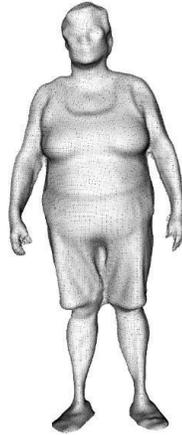


Figura 4-13 Reconstrucción de la superficie mediante la Triangulación Delaunay [16]

CAPÍTULO 5 - EXTRACCIÓN DE MEDIDAS

Con la finalidad de obtener las mediciones antropométricas del modelo final, se desarrolló una aplicación (Figura 5-1) que permitirá a los antropometristas llevar a cabo mediciones similares a las realizadas manualmente. Esta aplicación mostrará el mallado y permitirá seleccionar puntos sobre el modelo, a partir de los cuales se realizarán las siguientes mediciones [46]:

- Distancias entre puntos seleccionados
- Altura
- Circunferencias.

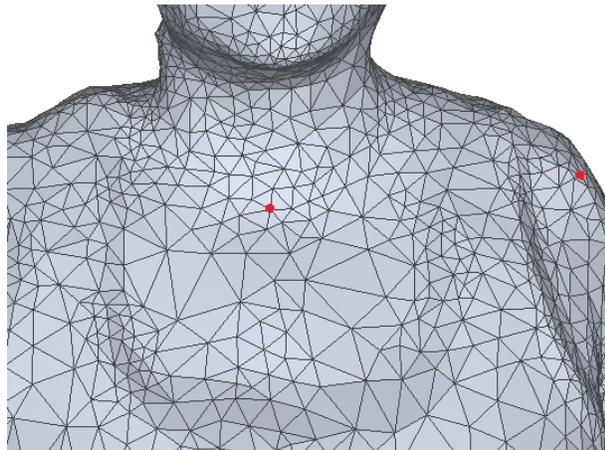


Figura 5-1 Selección de puntos sobre el mallado (Resaltados en rojo)

5.1 Cálculo de Dimensiones Lineales

Se definen dimensiones lineales como la distancia comprendida entre dos puntos sobre el modelo, como, por ejemplo, el largo del brazo (Figura 5-2). Para obtener esta medida, se utiliza el algoritmo para el cálculo de la distancia geodésica entre dos puntos sobre un mallado triangular. Se basa en el cálculo de la distancia más corta entre un punto a cualquier otro punto sobre el mallado [46], asociando una estructura de datos a cada punto.

El algoritmo utiliza un grafo dirigido de N nodos conectados, con x como nodo inicial y un vector D de tamaño N :

1. Se inicializan todas las distancias con un valor máximo, a excepción del nodo actual a que tendrá un valor de cero.
2. Sea $a = x$
3. Se recorren todos los nodos adyacentes de a , excepto los nodos marcados (v_1)
4. Se calcula la distancia desde el nodo actual con sus vecinos utilizando la formula $dt(v_i) = D_a + d(a, v_i)$. Si la distancia tentativa es inferior a la distancia almacenada en el vector, se actualiza el valor en el vector la distancia calculada.
5. El nodo a es marcado como completado
6. Se toma como próximo nodo actual el de menor valor en D y se regresa al paso 3 mientras existan nodos no marcados.

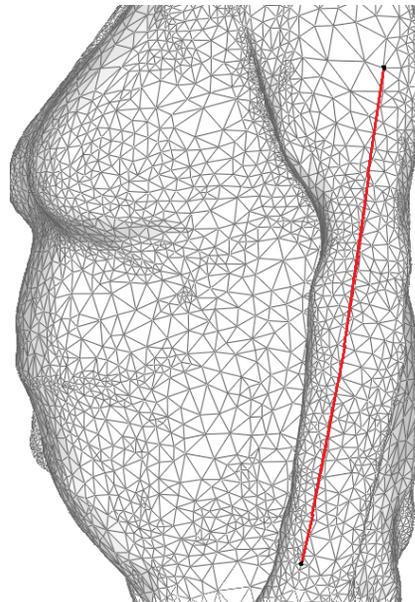


Figura 5-2 Trazado del camino más corto entre dos puntos seleccionados sobre el mallado.

Adicionalmente, se considera la altura como una dimensión lineal, pero calculada utilizando el *bounding box* del modelo. En geometría, la caja mínima o más pequeña para un conjunto de puntos (S) en N dimensiones, es la caja con la medida más pequeña (área, volumen o hipervolumen en dimensiones más altas) dentro de la cual se encuentran todos los puntos del modelo. Una vez definida el *bounding box*, se pueden utilizar los valores máximos y mínimos en la coordenada Y para la obtención de la altura del paciente.

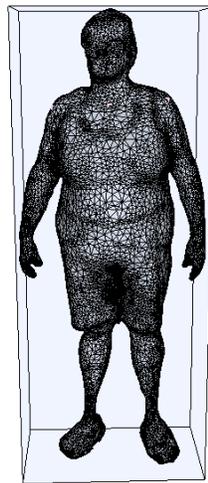


Figura 5-3 Bounding box, utilizado para la extracción de la talla del modelo

5.2 Cálculo de Circunferencias

Para el cálculo de las circunferencias, se utiliza el perímetro del contorno extraído de la superficie del cuerpo[47]. El primer matemático conocido por haber utilizado este tipo de razonamiento es Arquímedes, que se aproxima al perímetro de un círculo rodeándola con polígonos regulares. Se define el perímetro de un polígono como la suma de las longitudes de sus bordes: $p = L_1 + L_2 + \dots + L_n$, siendo L_1, L_2, \dots, L_n los lados del polígono.

La extracción de los puntos que componen el contorno, se obtiene mediante un plano de corte que intercepta al modelo (Ver Figura 5-4). La ecuación del plano es definida por 3 puntos seleccionados por el usuario sobre el modelo. De esta forma se permite un plano de corte en cualquier posición, sin quedar sujeto a que sea paralelo a los ejes.

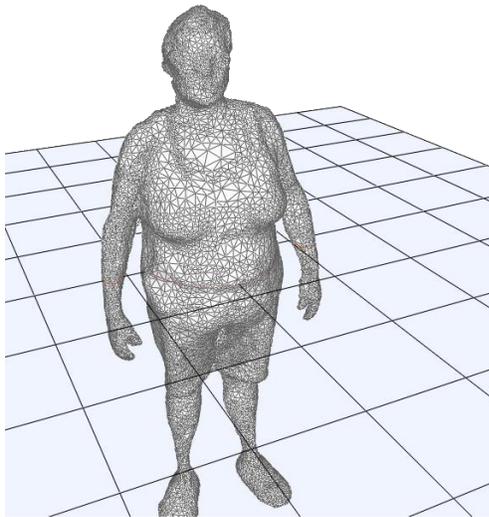


Figura 5-4 Ilustración de un plano de corte definido por el usuario.

Una vez definido el plano, se buscan los puntos que interceptan el modelo para definir los segmentos que compondrán el contorno a utilizar (Figura 5-5 y 5-6).

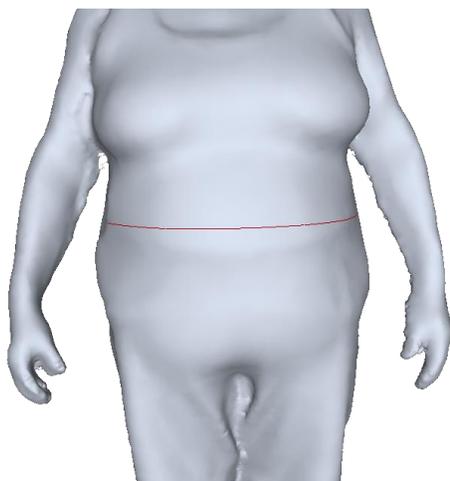


Figura 5-5 Circunferencia producto del plano de corte con el modelo

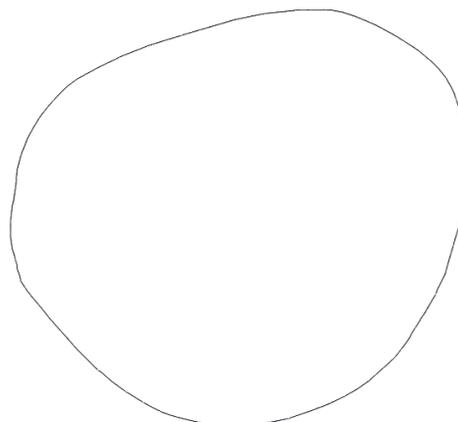


Figura 5-6 Circunferencia extraída vista desde arriba

A continuación, se describen los puntos anatómicos para la obtención de circunferencias del cuerpo, así como el cálculo de estas medidas a través de antropometría digital, basándonos en los métodos descritos en [47].

- **Circunferencia del pecho:**
 - **Localización:** Se define la circunferencia del pecho como el máximo contorno horizontal a nivel del pecho por debajo de las axilas, sobre el omoplato y que pasa a través de los pezones.
 - **Antropometría Digital:** Es la suma de las distancias que separan puntos sucesivos en el segmento que reposa en el plano paralelo al eje X y que pasa a través de los pezones [47].

- **Circunferencia de la cintura:**
 - **Localización:** Es la circunferencia horizontal al nivel de la cintura, justo debajo de la última costilla.
 - **Antropometría Digital:** Es el perímetro horizontal medido en la parte más baja del abdomen [47].

- **Circunferencia de la cadera**
 - **Localización:** La circunferencia de las caderas se define como la circunferencia de mayor tamaño a nivel de la cadera, paralela al piso.
 - **Antropometría Digital:** Es el perímetro horizontal medido a la altura del punto más alto de las nalgas [47].

- **Cálculo de la circunferencia del brazo**
 - **Localización:** El bíceps es la máxima circunferencia de la parte superior del brazo, paralela al piso y cercana a la axila.
 - **Antropometría Digital:** Es la circunferencia del brazo tomada 2 pulgadas por debajo de la axila. No es necesariamente la circunferencia más larga de la parte superior del brazo [47].

- **Calculo de la circunferencia de la muñeca:**
 - **Localización:** Se define como el perímetro sobre el hueso de la muñeca, sobre la parte más prominente del hueso de la muñeca externa.
 - **Antropometría Digital:** Se define como la circunferencia más pequeña desde el codo hasta los nudillos de la mano [47].

Es importante destacar que a diferencia de [47] la extracción de los segmentos a medir se obtienen de forma manual, es decir, seleccionando puntos sobre el mallado cercanos a los puntos anatómicos del paciente.

5.3 Comparación de Modelos

La aplicación permite el almacenamiento de los modelos asociados a un paciente, así como las medidas obtenidas respectivamente. Por cada paciente, se almacenarán los datos personales, la fecha de la captura y el valor de las medidas en centímetros. De esta manera se pueden generar gráficos comparativos de los

cambios en el cuerpo durante distintos periodos de tiempo. En la siguiente figura se pueden apreciar los cambios en las medidas de un paciente a través del tiempo:

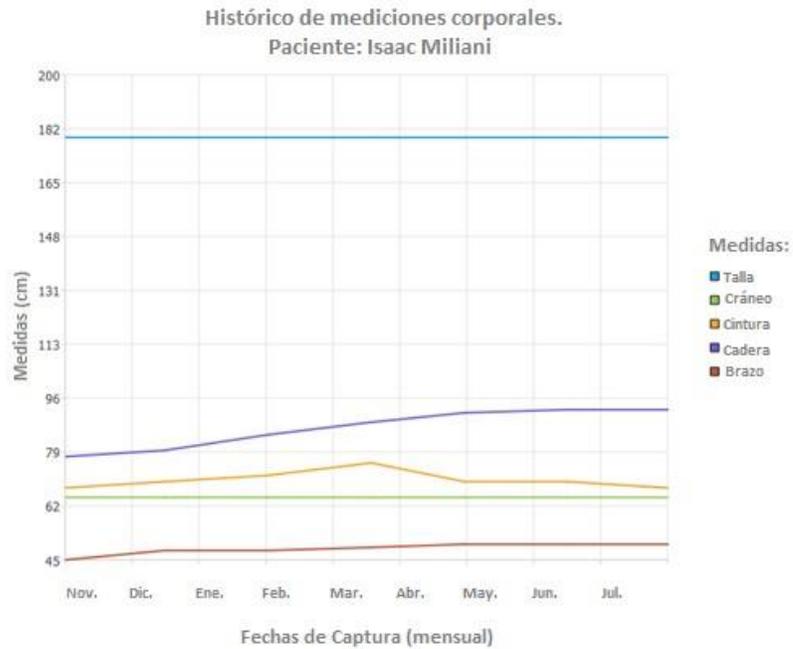


Figura 5-7 Histórico de cambios en las mediciones de un paciente

Finalmente, la aplicación permite mostrar dos modelos (Fig. 4-6) y seleccionar medidas de forma individual, las cuales pueden ser visualizadas desde una perspectiva superior.

CAPÍTULO 6 - IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

El proceso de desarrollo del sistema se basó en la metodología RAD propuesta por James Martin, la cual está basada en la construcción de prototipos a partir de 4 fases:

Fase de Requerimientos: Se analizan y planifican los requerimientos del prototipo. En esta fase se acordó con el tutor los requerimientos del sistema prototipo para cada módulo.

Fase de Diseño: En esta fase se generan modelos y prototipos con poca o ninguna funcionalidad. En nuestro sistema, una vez acordados los requerimientos se crearon prototipos de la interfaz gráfica para cada módulo.

Fase de Construcción: En esta fase se ejecutaron la programación del sistema, así como pruebas unitarias y de integración. En esta fase se incluyen las pruebas necesarias para el módulo de digitalización del cuero humano.

Fase de Transición: En esta fase se llevan a cabo las tareas de conversión de datos, pruebas y entrenamiento de usuarios. En este trabajo, se realizaron las pruebas de integración entre los distintos módulos, así como las pruebas necesarias para validar los datos antropométricos extraídos.

El paradigma de programación utilizado fue el de Programación Orientada a Objetos. El lenguaje de programación fue C++. Se utilizaron las herramientas Visual Studio 2012™ (Community Edition) y Qt™. El almacenamiento de datos es con Postgres. Las especificaciones del equipo de desarrollo son:

- Sensor Kinect v2.
- Computadora con las siguientes características (o superior): Procesador Intel i7-2.4-GHz de 64 bits, 8 GB de RAM, una tarjeta gráfica con unidad de procesamiento gráfico Nvidia™ GeForce GTX 850M, 1 Puerto USB 3.0.

El sistema prototipo está compuesto por 3 módulos que interactúan entre sí. En el primer módulo se lleva a cabo la captura de la superficie, utilizando un Kinect como escáner 3D, generando un modelo 3D del cuerpo del paciente. En el segundo módulo, se llevan a cabo las tareas de post-procesamiento del modelo y, por último, en el tercer módulo se ejecutan las tareas de extracción de medidas antropométricas (Figura 6-1):



Figura 6-1 Flujo de procesos y Librerías (parte inferior) del sistema prototipo.

6.1 Casos de Uso

La metodología RAD no incorpora los casos de uso como parte de sus artefactos, sin embargo, los utilizamos para indicar las funcionalidades del sistema.

6.1.1 Módulo de Digitalización del cuerpo humano

En el módulo de digitalización del cuerpo se lleva a cabo el proceso de captura y almacenamiento del modelo 3D del paciente (Figura 6-2). Para ello, utilizamos la aplicación KinectFusion Explorer D2D.

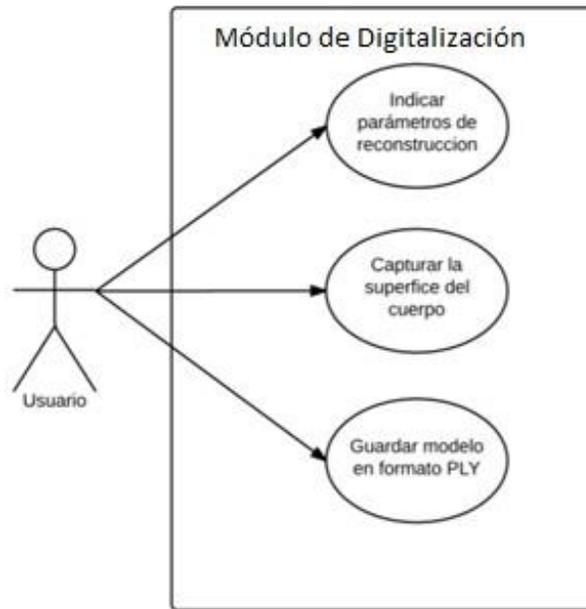


Figura 6-2 Nivel 1 del caso de uso del Módulo de digitalización del cuerpo humano.

EL Kinect Fusion-D2D Explorer (figura 6-3), es una aplicación que forma parte del SDK del sensor. A través de esta se puede observar el proceso de reconstrucción a medida que se va escaneando la superficie (izquierda). Adicionalmente muestra la captura del sensor de profundidad (derecha-superior) y el proceso de seguimiento de la cámara (derecha-inferior). En la parte inferior se encuentran los controles del proceso de reconstrucción: Resolución del volumen, Filtro de profundidad y voxels por metro.

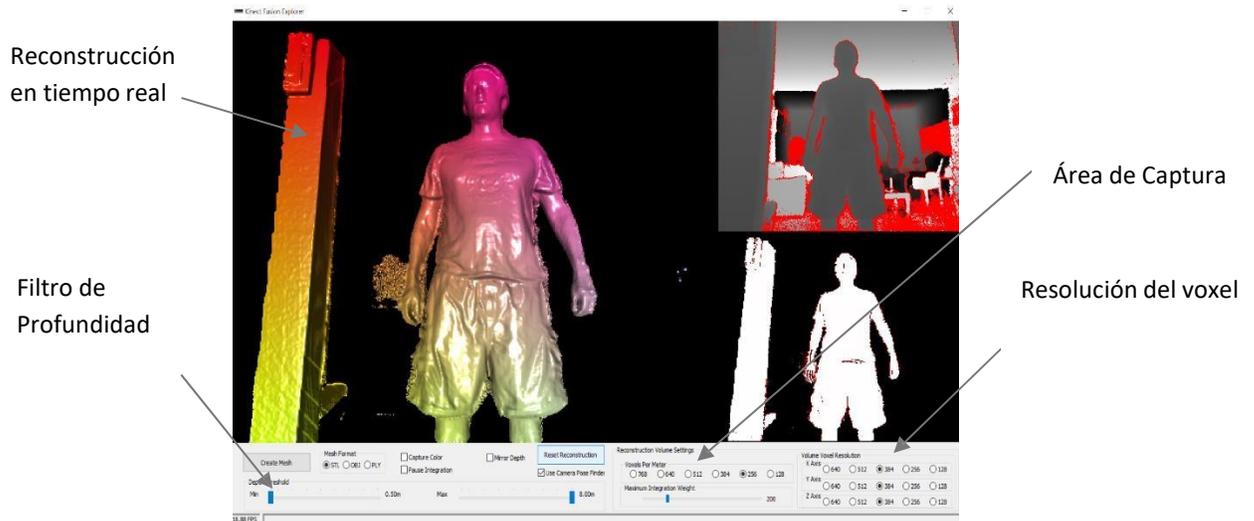


Figura 6-3 Interfaz para la captura de la superficie del paciente

6.1.2 Módulo de Post Procesamiento

Una vez capturada la superficie, la primera tarea consiste en disminuir la cantidad de vértices para acelerar el procesamiento. Es importante utilizar un parámetro que disminuya la cantidad de vértices sin perder o distorsionar la información de la superficie. En este caso, de acuerdo a Meister *et al.* [42] y a las pruebas llevadas a cabo en este trabajo, el rango que mejor se ajusta es de 0.002 cm, por lo que se utiliza un grid de voxels de 2 milímetros en un área de 2m³. En la figura 6-4 se muestran los casos de uso involucrados.

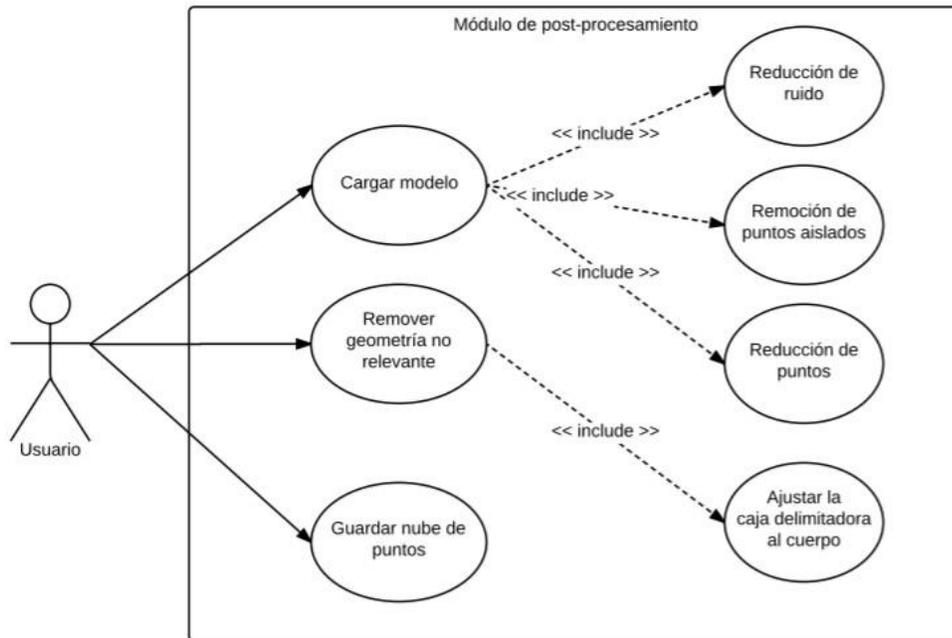


Figura 6-4 Casos de uso del módulo de post-procesamiento.

En el segundo paso, se elimina toda la data no relevante en el modelo a través de una caja delimitadora que separa la superficie del cuerpo del resto de la escena. Para ello, se selecciona el filtro y se ajustan los lados de la caja a la nube de puntos que corresponde al cuerpo. En este proceso se eliminan los vértices que corresponden al suelo, así como cualquier data fuera de la caja. Por último, se aplica un filtro de valores atípicos, con un parámetro igual a 100 vecinos adyacentes por punto, esto quiere decir, que aquellos puntos que no tengan al menos 100 puntos en un radio predeterminado, es considerado un valor atípico y por lo tanto eliminado. El resultado de estas operaciones es una nube de puntos libre de data no relevante, así como con una cantidad de muestras manejable para la aplicación de algoritmos de geometría digital.

Para llevar a cabo estas tareas, se desarrolló el módulo de post-procesamiento, donde se carga el modelo seleccionando el archivo generado por el KinectFusion. De este archivo se extraen solo los vértices y son desplegados a través del visualizador (Figura 6-5).

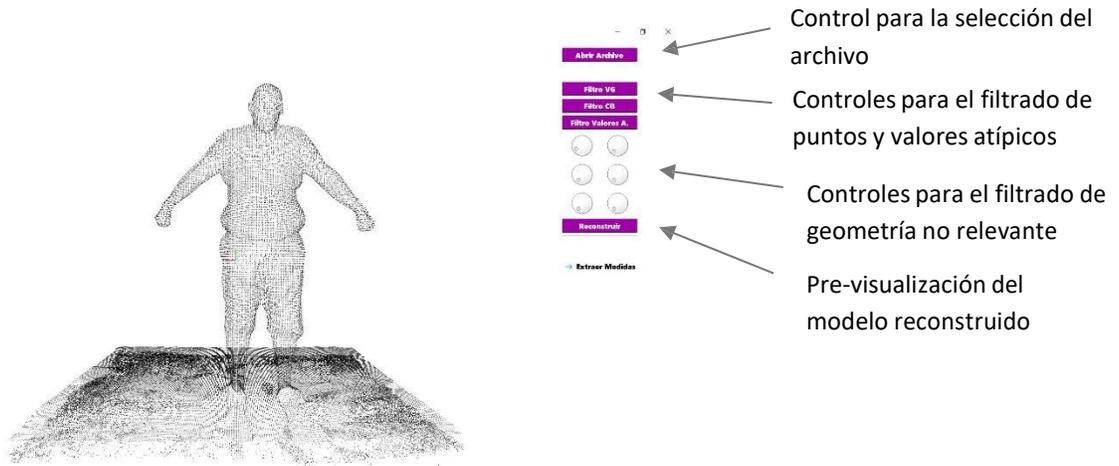


Figura 6-5 Interfaz de para el post-procesamiento del modelo

A partir de este momento, el modelo ya es apto para ser utilizado por algoritmos de procesamiento geométrico.

6.1.3 Módulo de Extracción de Medidas

En el módulo de extracción de medidas, es donde se lleva a cabo la reconstrucción de la superficie a partir de la nube de puntos reparada. Para ello, se definieron los siguientes casos de uso (Fig. 6-6), donde se incluyen la estimación de las normales y se genera la superficie a través del método de triangulación de Delaunay de la librería CGAL

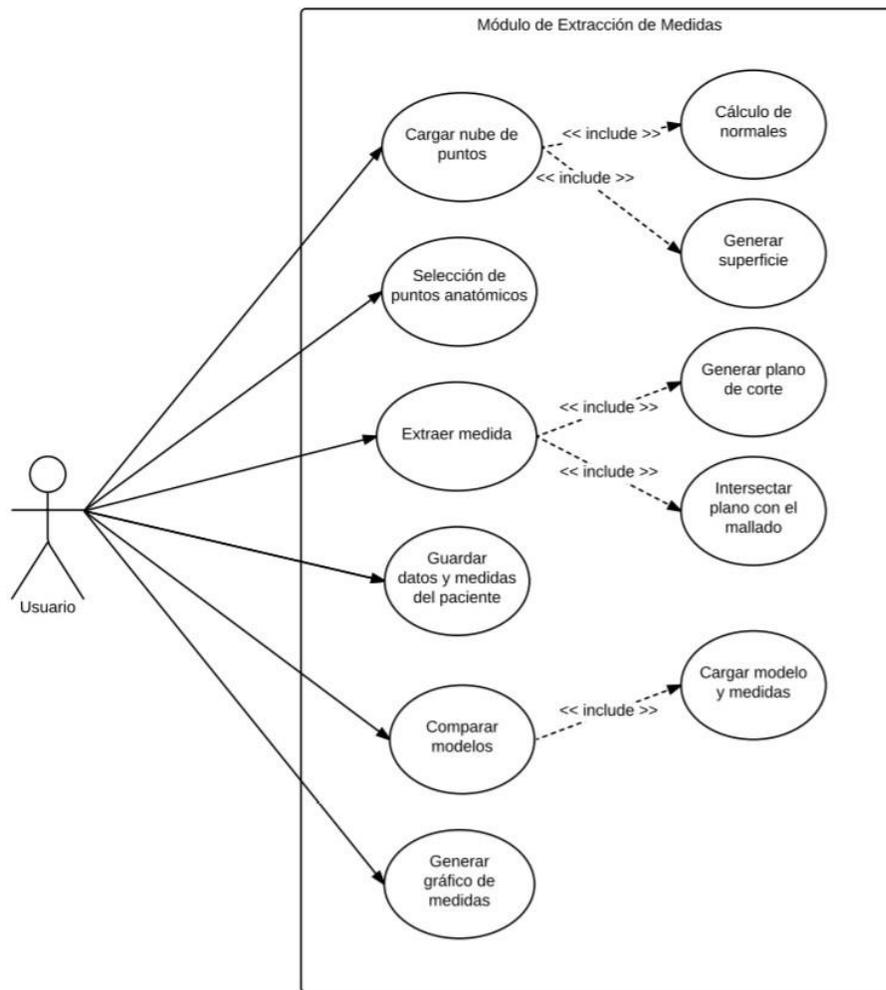


Figura 6-6 Nivel 1 del caso de uso del Módulo de extracción de medidas

Una vez generado el mallado (Figura 6-7) se llevará a cabo el procesamiento del modelo, por lo que el visualizador contiene botones para la selección de puntos y para la extracción de las medidas. Al finalizar, la aplicación solicitará al usuario el número de cédula del paciente y otros datos personales como nombre, apellido, fecha de nacimiento y fecha de la captura del modelo.

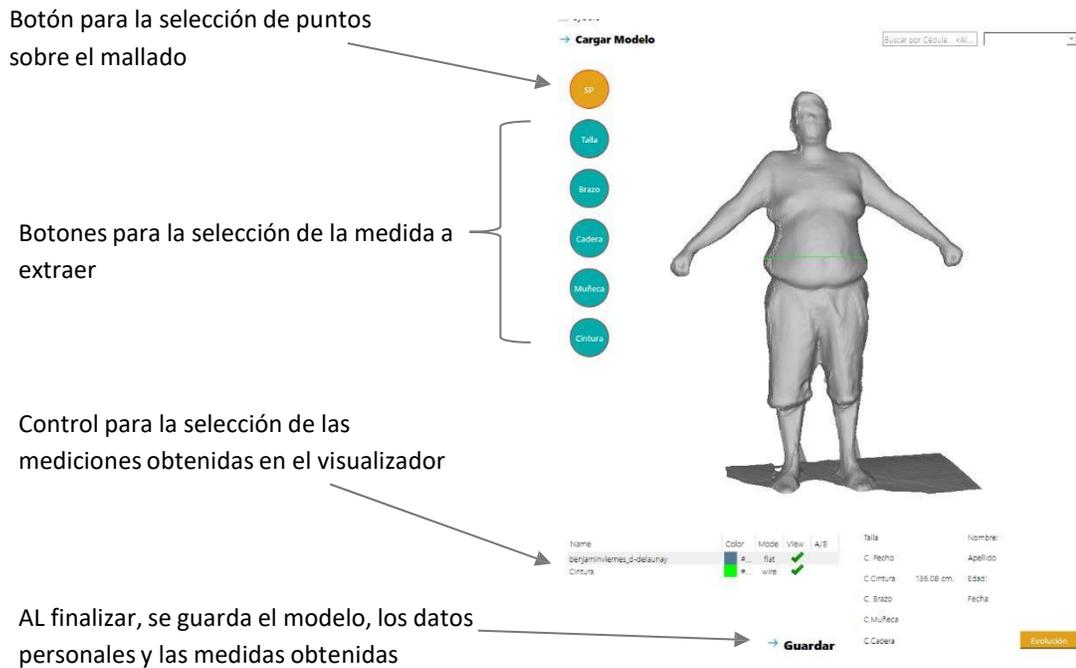


Figura 6-7 Interfaz para la extracción de medidas

Para la extracción de medidas lineales, el usuario debe seleccionar 2 puntos sobre el modelo y para las medidas circunferenciales debe seleccionar 4 puntos. A continuación, presiona el botón correspondiente a la medición y se lleva a cabo el proceso de cálculo de medidas. El sistema muestra el resultado y al presionar el botón guardar, las asocia al modelo del paciente.

En el segundo visualizador (que es mostrado al cargar un segundo modelo) se podrán realizar comparaciones (Figura 6-8 y 6-9). Para esto, se debe cargar un modelo cuyas medidas fueron previamente almacenadas. Al finalizar la carga, el sistema mostrara en la parte derecha inferior la diferencia entre las medidas correspondientes a los modelos.



Figura 6-8 Visualización de dos modelos de forma simultanea

Es posible seleccionar individualmente cada circunferencia y visualizarlas perpendicularmente con la finalidad de apreciar visualmente los cambios en la silueta:

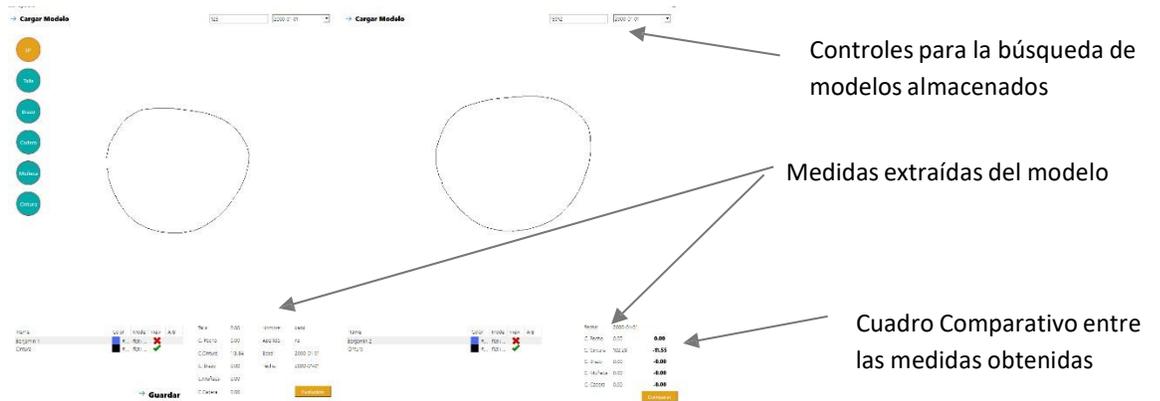


Figura 6-9 Comparación de la circunferencia de cintura entre dos modelos

Para visualizar la evolución del paciente, el usuario debe presionar el botón evolución para generar un gráfico compuesto por las medidas del paciente y los distintos momentos cuando fueron tomadas.

6.2 Arquitectura del Sistema prototipo

Se define la arquitectura de un sistema como el diseño o conjunto de relaciones entre las partes que lo constituyen (Figura 6-10). Estas partes son librerías que fueron seleccionadas teniendo en consideración el principio de código abierto y compatibilidad entre ellas.

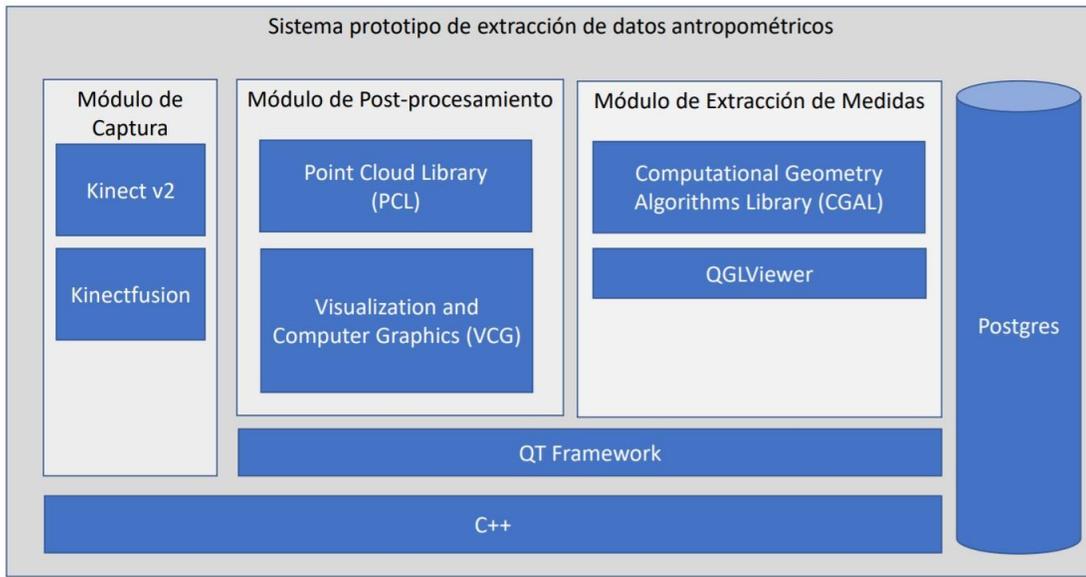


Figura 6-10 Arquitectura del sistema prototipo

A continuación, se detallan las librerías y sus funciones:

6.1.1 Librería PCL

PCL se libera bajo los términos de la licencia BSD y es software de código abierto [48]. La biblioteca de puntos de la nube (PCL) es un proyecto independiente, a gran escala, abierto para la imagen 2D / 3D y procesamiento de la nube de puntos. PCL se libera bajo los términos de la licencia de BSD, y así libre para el uso comercial y de la investigación.

Específicamente, se han utilizado los módulos de visualización para la manipulación de la nube de puntos capturada por el Kinect. El Módulo IO para la carga de los modelos en memoria. El módulo de filtros para las tareas de reparación (Crop-Box, VoxelGrid, Filtrado de valores atípicos y MLS), el cual a su vez utiliza otros módulos: common, simple consensus, search, kdtree, octree.

6.1.2 Librería VCG

La Librería VCG (Visualization and Computer Graphics) es una librería de código abierto basada en plantillas para la manipulación, procesamiento y visualización de mallados triangulares y tetrahedales. Específicamente fue utilizado el módulo de carga y almacenamiento de mallados en formatos PLY y OFF.

6.1.3 Librería Qt

Qt™ es un framework multiplataforma orientado a objetos ampliamente usado para desarrollar programas (software) que utilicen interfaz gráfica de usuario, así como también diferentes tipos de herramientas para la línea de comandos y consolas para servidores que no necesitan una interfaz gráfica de usuario [49].

Qt utiliza el lenguaje de programación C++ de forma nativa, adicionalmente puede ser utilizado en varios otros lenguajes de programación a través de *bindings*. Qt es desarrollada como un software libre y de código abierto a través de Qt Project, donde participa tanto la comunidad, como desarrolladores de Nokia, Digia y otras empresas. Qt es utilizada en KDE, entorno de escritorio para sistemas como GNU/Linux o FreeBSD, entre otros.

6.1.4 Librería CGAL

La Biblioteca de Algoritmos de Geometría Computacional (CGAL®) [44], [50], [51] es una librería de software de algoritmos de geometría computacional.

Está principalmente escrita en C++, aunque también tiene enlaces a Scilab, que permiten llamadas desde Python y Java.1 2.

El software está disponible bajo una licencia dual. Si se usa para desarrollar software de código abierto, está disponible con licencias de código abierto (LGPL o GPL dependiendo del componente). En otros casos puede ser adquirida una licencia comercial, con opciones diferentes para uso en investigación/académico y clientes industriales.

6.1.5 Librería QGLViewer

LibQGLViewer [52] es una biblioteca de C ++ basada en Qt que facilita la creación de visores 3D de OpenGL. Proporciona algunas de las típicas funcionalidades del visor 3D, como la posibilidad de mover la cámara con el ratón, marcos manipulados por el ratón, *keyframes* interpolados, selección de objetos, pantalla estéreo, ahorro de captura de pantalla y mucho más. Puede ser utilizado por principiantes de OpenGL, así como para crear aplicaciones complejas, siendo completamente personalizable y fácil de extender. Basado en el Qt toolkit, compila cualquier arquitectura (Unix-Linux, Mac, Windows). Se proporciona documentación de referencia completa y muchos ejemplos. LibQGLViewer no muestra escenas 3D en varios formatos, pero puede ser la base para la codificación de dicho visor.

LibQGLViewer utiliza licencias dobles: está disponible libremente bajo los términos de la licencia GNU-GPL para el desarrollo de software de código abierto, mientras que las aplicaciones comerciales pueden solicitar una licencia comercial.

6.3 Diagrama Entidad-Relación

El modelo lógico es la representación de la estructura y las relaciones de los datos esenciales del negocio eso es para el modelo de datos. El diseño lógico traduce los escenarios de uso creados en el diseño conceptual en un conjunto de objetos de negocio y sus servicios. El diseño lógico se convierte en partes en la especificación funcional que se usa en el diseño físico.

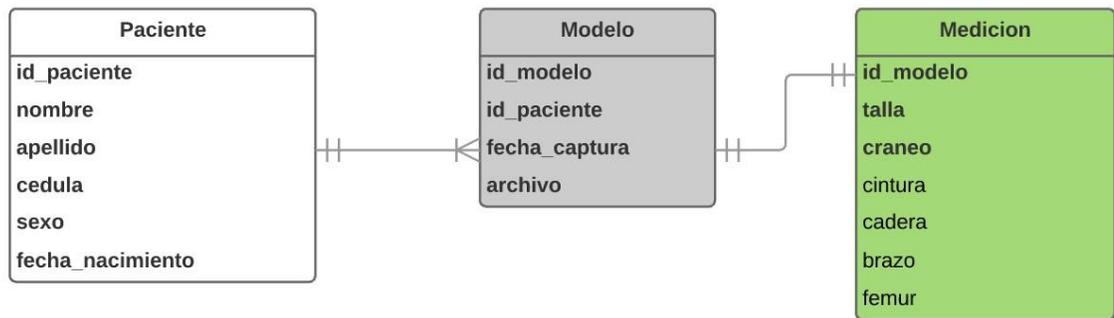


Figura 6-11 Diagrama Entidad-Relación

6.4 Pruebas

Para la validación del funcionamiento del sistema, se escanearon 3 personas de distinta edad y contextura. Los resultados en las mediciones fueron comparados con las mediciones hechas por la Antrop. Naylet Bello R.

Para el escaneado, se configuraron los parámetros de reconstrucción del Kinectfusion siguiendo las conclusiones hechas por Meister *et al.*, en [31], donde indican que para lograr una mayor precisión se debe configurar el voxel al menor tamaño posible de acuerdo al volumen a escanear. A continuación, se inicia el proceso de captura y el paciente adopta la posición anatómica estándar (Figura 6-12) mientras el Kinect es movido a su alrededor hasta completar el escaneado. Al finalizar, los datos capturados son almacenados en formato PLY.

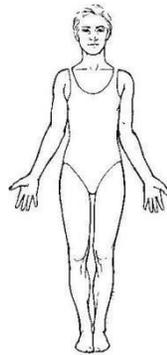


Figura 6-12 Posición anatómica estándar.

Es importante destacar que la selección de los puntos anatómicos sobre el modelo 3D fueron realizados por la nutricionista. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

	PACIENTE 1		PACIENTE 2		PACIENTE 3	
	Manual	Digital	Manual	Digital	Manual	Digital
ALTURA	179.5	180.8	150.5	150.0	166.6	167.3
CIRCUNFERENCIA DE MUÑECA	16.5	18.2	13.0	14.7	19.3	21.0
CIRCUNFERENCIA BRAZO	33.7	34.9	26.0	27.1	32.4	32.1
CIRCUNFERENCIA CINTURA	108.3	109.2	114.3	115.5	111.5	110.3
CIRCUNFERENCIA CADERA	119.5	120.1	114.3	114.9	117.5	117.9

Tabla 1 Comparación de las medidas obtenidas entre el método manual y nuestro sistema

Como se puede observar, las mediciones calculadas por la aplicación presentan un nivel de aproximación de 1-2 cm con respecto a las mediciones hechas por el antropometrista. En comparación a los trabajos presentados por J. Tong et al. [22] con un Kinect 1.0, se observó que aumenta la precisión en cuanto a las medidas circunferenciales para la cintura y la cadera, esto puede ser debido al uso de una mayor resolución en sensor de profundidad de la nueva versión del Kinect. Otro factor que podría influir en este resultado, es que el proceso de

digitalización del cuerpo humano fue llevado a cabo mediante la alineación manual de las tomas, mientras que en este trabajo se utilizó la librería Kinectfusion, diseñada especialmente para los dispositivos Kinect.

En las áreas de menor circunferencia como el brazo o la muñeca, donde existe un porcentaje de error mayor al 10%, se pudo comprobar que influyen dos factores: 1) el movimiento de las extremidades al momento de escanear al paciente 2) el volumen de resolución de los voxels. Esto se pudo comprobar mediante la captura de estas secciones de forma independiente. Para ello el paciente adoptó una posición más cómoda donde pudiese tener el brazo apoyado y se configuró un voxel y un área de escaneado de menor tamaño. De la misma forma, es posible escanear únicamente el torso del paciente y obtener medidas un poco más precisas que las obtenidas escaneando el cuerpo completo.

El tiempo del proceso de captura puede tardar entre 5-6 minutos, el proceso de reparación entre 3 y 4 minutos y el proceso de extracción de medidas es al momento, por lo que se puede definir que el tiempo necesario para escanear y extraer las medidas es de unos 10 minutos aproximadamente. En comparación a Y. Cui *et al.* [23], se obtiene una precisión similar en las circunferencias de la cadera y la cintura en menos tiempo.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSIONES Y TRABAJOS A FUTURO

La presente tesis tuvo como objetivo desarrollar un sistema para la extracción de medidas antropométricas a partir de un sensor 3D de bajo costo. Una vez finalizado el desarrollo y ejecutado las pruebas correspondientes, se concluyen los siguientes puntos:

- Se desarrolló un sistema para la obtención de medidas antropométricas a partir de un sensor 3D de bajo costo. El sistema permite capturar y almacenar medidas lineales y circunferenciales, adicionalmente permite generar un gráfico histórico para la observación de la evolución de los cambios corporales de un paciente.
- Las medidas circunferenciales utilizadas (brazo, cintura, cadera y muñeca) para probar la eficacia del sistema prototipo presentan una diferencia menor a 2 cm con respecto a las mediciones hechas por un antropometrista de forma manual.
- Es posible obtener mayor precisión al utilizar un volumen de escaneado menor, así como voxels de menor tamaño en áreas más pequeñas como el brazo y la muñeca.
- Se observaron resultados similares a los encontrados por Weiss et al. [18], en cuanto a la precisión de las medidas de la circunferencia de la cadera.
- En comparación al trabajo presentado por Tong *et al.* [22] con un Kinect 1.0, se observó una mayor precisión en las medidas circunferenciales de la cintura (6.2 cm) y cadera (3.8), ya que como se mencionó anteriormente la diferencia no excedió de 2 cm con respecto a las mediciones tomadas manualmente.
- Se desarrolló un flujo de procesos para la extracción de medidas antropométricas a partir de modelos 3D generados por un sensor 3D de bajo costo utilizando librerías de código abierto.
- El sistema prototipo estará disponible bajo licencia GNU GPLv3.

Finalmente, se plantean los siguientes trabajos a futuro:

- Desarrollar una aplicación que permita realizar el post procesamiento del mallado de forma automática.
- Desarrollar un módulo para la obtención de los puntos anatómicos de forma automática, utilizando la información del color obtenida por el Kinect [46].
- El proceso de captura de la superficie puede ser tedioso, sin embargo, es posible crear un mecanismo eficiente y de bajo costo, como una base giratoria para mejorar este aspecto [53].

REFERENCIAS

- [1] G. Eknoyan, "Adolphe Quetelet (1796-1874)--the average man and indices of obesity," *Nephrol. Dial. Transplant.*, vol. 23, no. 1, pp. 47–51, Jan. 2008.
- [2] S. P. Apell, O. Wahlsten, and H. Gawlitza, "Body mass index – a physics perspective," SE-412 96 Göteborg, Sweden, Sep-2012.
- [3] Esperanza Valero Cabello, "Antropometría», Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo," *Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. [En Línea]. Disponible: <http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Diseno%20del%20puesto/DTEAntropometriaDP.pdf>. [Consulta-2017].
- [4] Nicola D'Apuzzo, "3D Human Body Standing Technologies Overview, Trends, Applications," presented at the 3rd International Conference and Exhibition on 3D Body Standing Technologies, Lugano, Switzerland, 2013.
- [5] R. Heuberger, T. Domina, and M. MacGillivray, "Body scanning as a new anthropometric measurement tool for health-risk assessment," *International Journal of Consumer Studies*, vol. 32, no. 1, pp. 34–40, 2008.
- [6] "The Body Volume Index - Body Measurement for the 21st century." [En Línea]. Disponible: http://www.bodyvolume.com/files/20481_bvi_brochure_2012.pdf.
- [7] Veleba, D and Felkel, P, "The 15th International Conference in Central Europe on Computer Graphics," pp. 65–72, 2007.
- [8] J. C. K. Wells, A. Ruto, and P. Treleaven, "Whole-body three-dimensional photonic scanning: a new technique for obesity research and clinical practice," *Int J Obes*, vol. 32, no. 2, pp. 232–238, Oct. 2007.
- [9] A. Tsoli, M. Loper, and M. J. Black, "Model-based anthropometry: Predicting measurements from 3D human scans in multiple poses," in *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, pp. 83–90, 2014.
- [10] K. M. Robinette, H. Daanen, and E. Paquet, "The Caesar Project: A 3-D Surface Anthropometry Survey," in *Proceedings of the 2Nd International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling*, pp. 380–386, Washington, DC, USA, 1999.
- [11] N. Hasler, C. Stoll, M. Sunkel, B. Rosenhahn, and H.-P. Seidel, "A Statistical Model of Human Pose and Body Shape," *Computer Graphics Forum*, vol. 28, no. 2, pp. 337–346, 2009.
- [12] Carlo Zancanaro and Christian Lovato, "Three-dimensional body scanning: methods and applications for anthropometry," Phd, UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI VERONA, Verona, 2010.
- [13] L. Cruz, D. Lucio, and L. Velho, "Kinect and RGBD Images: Challenges and Applications," in *25th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images Tutorials (SIBGRAPI-T)*, pp. 36–49, 2012.

- [14] C. Velardo and J.-L. Dugelay, "Real Time Extraction of Body Soft Biometric from 3D Videos," in *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Multimedia*, pp. 781–782, New York, NY, USA 2011.
- [15] "OpenNI User Guide," Nov-2010. [En Línea]. Disponible: <http://www.openni.org/documentation>. [Consulta: 17-Oct-2014].
- [16] G. Bradski, *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 2000.
- [17] R. B. Rusu and S. Cousins, "3D is here: Point Cloud Library (PCL)," in *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2011.
- [18] A. Weiss, D. Hirshberg, and M. J. Black, "Home 3D body scans from noisy image and range data," in *Consumer Depth Cameras for Computer Vision: Research Topics and Applications*, A. Fossati, J. Gall, H. Grabner, X. Ren, and K. Konolige, Eds. Springer-Verlag, pp. 99–118, 2012.
- [19] D. Anguelov, P. Srinivasan, D. Koller, S. Thrun, J. Rodgers, and J. Davis, "SCAPE: Shape Completion and Animation of People," *ACM Trans. Graph.*, vol. 24, pp. 408–416, Jul. 2005.
- [20] P. Guan, A. Weiss, A. O. Balan, and M. J. Black, "Estimating human shape and pose from a single image," in *IEEE 12th International Conference on Computer Vision*, pp. 1381–1388, 2009.
- [21] B. Allen, B. Curless, and Z. Popović, "The Space of Human Body Shapes: Reconstruction and Parameterization from Range Scans," *ACM Trans. Graph.*, vol. 22, no. 3, pp. 587–594, Jul. 2003.
- [22] J. Tong, J. Zhou, L. Liu, Z. Pan, and H. Yan, "Scanning 3D Full Human Bodies Using Kinects," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 18, no. 4, pp. 643–650, Apr. 2012.
- [23] Y. Cui, W. Chang, T. Nöll, and D. Stricker, "KinectAvatar: Fully Automatic Body Capture Using a Single Kinect," in *Computer Vision - ACCV 2012 Workshops*, vol. 7729, J.-I. Park and J. Kim, Eds. Springer Berlin Heidelberg, pp. 133–147, 2013.
- [24] M. Kazhdan, M. Bolitho, and H. Hoppe, "Poisson Surface Reconstruction," in *Proceedings of the Fourth Eurographics Symposium on Geometry Processing*, pp. 61–70, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2006.
- [25] Yan Cui, S. Schuon, S. Thrun, D. Stricker, and C. Theobalt, "Algorithms for 3D Shape Scanning with a Depth Camera," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 35, no. 5, pp. 1039–1050, May 2013.
- [26] S. Schuon, C. Theobalt, J. Davis, and S. Thrun, "LidarBoost: Depth superresolution for ToF 3D shape scanning," presented at the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 343--350, 2009.
- [27] A. Myronenko and X. Song, "Point Set Registration: Coherent Point Drift," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, no. 12, pp. 2262–2275, Dec. 2010.
- [28] Y. Cui, S. Schuon, D. Chan, S. Thrun, and C. Theobalt, "3D shape scanning with a time-of-flight camera," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 1173–1180, 2010.
- [29] W. Chang and M. Zwicker, "Global Registration of Dynamic Range Scans for Articulated Model Reconstruction," *ACM Trans. Graph.*, vol. 30, no. 3, p. 26:1–26:15, May 2011.

- [30] S. Izadi *et al.*, “KinectFusion: Real-time 3D Reconstruction and Interaction Using a Moving Depth Camera,” in *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 559–568, New York, NY, USA, 2011.
- [31] S. Meister, S. Izadi, P. Kohli, M. Hammerle, C. Rother, and D. Kondermann, “When Can We Use KinectFusion for Ground Truth Acquisition?,” in *Workshop on Color-Depth Camera Fusion in Robotics, IROS*, 2012.
- [32] J. W. Silva, L. Gomes, K. A. Aguero, O. R. P. Bellon, and L. Silva, “Real-time acquisition and super-resolution techniques on 3D reconstruction,” in *20th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 2135–2139, 2013.
- [33] C. Richardt, C. Stoll, N. A. Dodgson, H.-P. Seidel, and C. Theobalt, “Coherent Spatiotemporal Filtering, Upsampling and Rendering of RGBZ Videos,” *Computer Graphics Forum*, vol. 31, no. 2pt1, pp. 247–256, 2012.
- [34] H. Bay, T. Tuytelaars, and L. Gool, “SURF: Speeded Up Robust Features,” in *Computer Vision – ECCV 2006*, vol. 3951, A. Leonardis, H. Bischof, and A. Pinz, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 346–359.
- [35] J. Davis, S. R. Marschner, M. Garr, and M. Levoy, “Filling holes in complex surfaces using volumetric diffusion,” in *Proceedings. First International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission*, pp. 428–441, 2002.
- [36] W. E. Lorensen and H. E. Cline, “Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm,” *SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 21, no. 4, pp. 163–169, Aug. 1987.
- [37] EMS Technologies, “Types of 3D Scanners and 3D Scanning Technologies,” *3D Scanning Technologies*, 30-May-2017. [En Línea]. Disponible: <https://www.ems-usa.com/tech-papers/3D%20Scanning%20Technologies%20.pdf>.
- [38] Krystof Litomisky, “Consumer RGB-D Cameras and their Applications.” [En Línea]. Disponible: <http://alumni.cs.ucr.edu/~klitomis/files/RGBD-intro.pdf>.
- [39] “Softpedia,” *Softpedia*, 04-Feb-2017. [En Línea]. Disponible: <http://www.softpedia.es/programa-Kinect-SDK-190054.htm>.
- [40] S. Izadi *et al.*, “KinectFusion: Real-time 3D Reconstruction and Interaction Using a Moving Depth Camera,” in *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 559–568, New York, NY, USA, 2011.
- [41] “Microsoft Developer Network.” [En Línea]. Disponible: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn188670.aspx>. [Consulta: 05-Nov-2017].
- [42] Stephan Meister, Shahram Izadi², Pushmeet Kohli, Martin Hammerle, Carsten Rother, and Daniel Kondermann, “When Can We Use KinectFusion for Ground Truth Acquisition?”
- [43] M. Botsch, L. Kobbelt, M. Pauly, P. Alliez, and B. Lévy, *Polygon mesh processing*. CRC press, 2010.
- [44] P. Alliez, L. Saboret, and G. Guennebaud, “Poisson Surface Reconstruction,” in *CGAL User and Reference Manual*, 4.9.1., CGAL Editorial Board, 2017.

- [45] Wikipedia, *Triangulación de Delaunay* — *Wikipedia, La enciclopedia libre*. 2017.
- [46] Carlo Zancanaro and Christian Lovato, “Three-dimensional body scanning: methods and applications for anthropometry,” Verona, 2010.
- [47] K. P. Simmons and C. L. Istook, “Body measurement techniques: Comparing 3D body-scanning and anthropometric methods for apparel applications,” *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, vol. 7, no. 3, pp. 306–332, 2003.
- [48] R. B. Rusu and S. Cousins, “3D is here: Point Cloud Library (PCL),” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Shanghai, China, 2011.
- [49] “Qt,” 04-Nov-2017. [En Línea]. Disponible: <https://www.qt.io/es/>.
- [50] L. Kettner, “3D Polyhedral Surface,” in *CGAL User and Reference Manual*, 4.9.1., CGAL Editorial Board, 2017.
- [51] S. Kiazky, S. Lorient, and É. C. de Verdière, “Triangulated Surface Mesh Shortest Paths,” in *CGAL User and Reference Manual*, 4.9.1., CGAL Editorial Board, 2017.
- [52] “libQGLViewer,” 04-Nov-2017. [En Línea]. Disponible: <http://libqglviewer.com/>.
- [53] “Autonomous / Voice Controlled - 3D Scanning Rig for 3D Printing: 31 Steps (with Pictures).” [En Línea]. Disponible: <http://www.instructables.com/id/Autonomous-Voice-Controlled-3D-Scanning-Rig/?ALLSTEP>. [Consulta: 05-Sep-2017].