



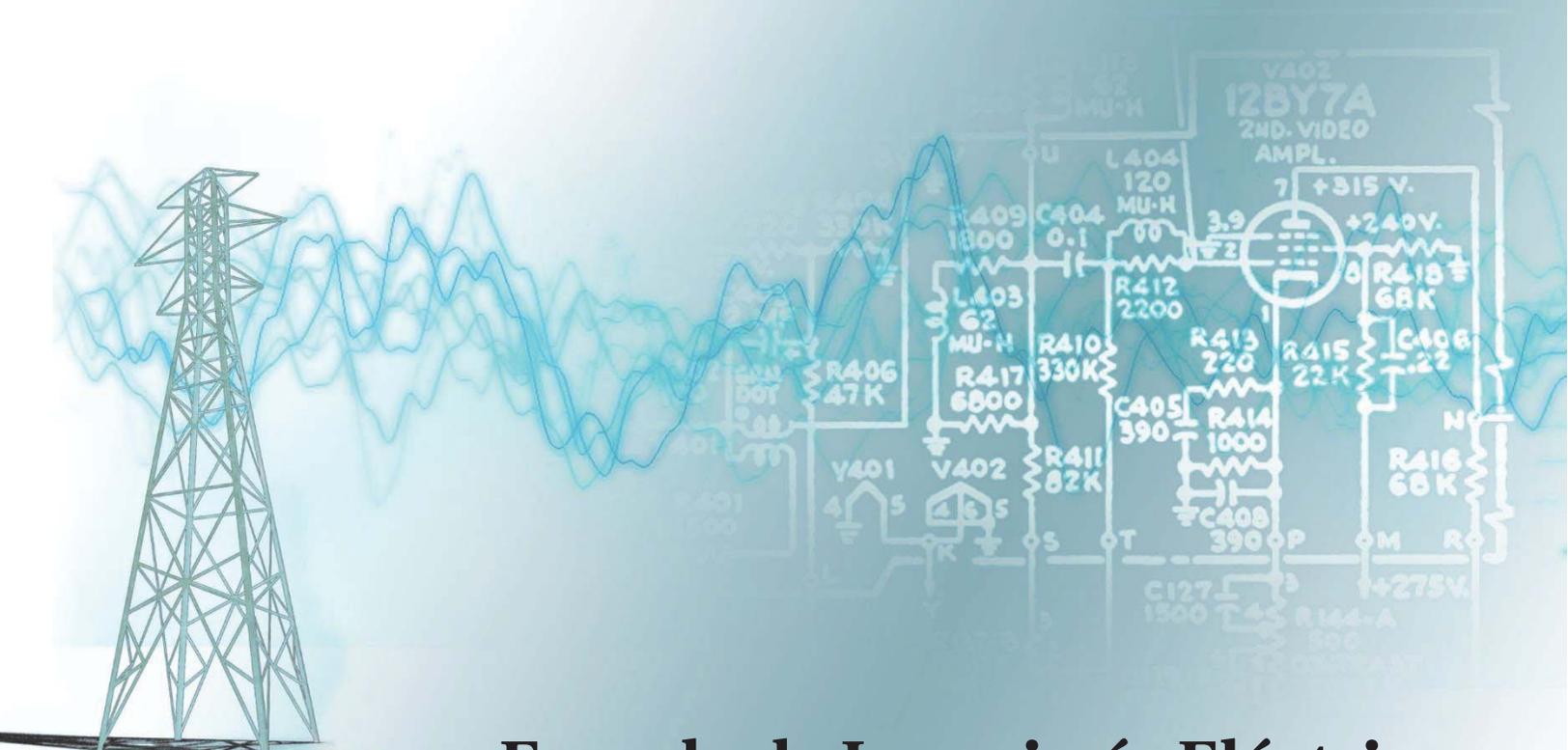
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Juan Ulises Barraza Barraza

Generación de una base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Electrónico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

Generación de una base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas

Juan Ulises Barraza Barraza

Informe final para el título de Ingeniero Electrónico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Sebastian Fingerhuth Massmann
Profesor Guía

Sr. Gabriel Hermosilla Vigneau
Segundo Revisor

Sr. Jorege Mendoza Baeza
Secretario Académico

Valparaíso, 28 de febrero de 2017

A mi madre, Ema

Agradecimientos

Quiero agradecer primero que todo a mi madre, una mujer luchadora que siempre ha dado lo que este a su alcance para nuestra felicidad, una mujer que me ha enseñado que todo se puede cuando se quiere, que muchas veces sin saberlo me ha dado fuerzas para continuar. Gracias madre por darme la vida, por darme la posibilidad de estudiar, por hacer de mi la persona que hoy soy. Te amo.

Sin duda alguna mi familia ha sido un pilar fundamental en esta etapa de mi vida que hoy está finalizando, mis tíos, tías primos, primas que siempre han estado presente para brindar un poco de ayuda. No puedo dejar de lado a mi tía Alicia que desde niño me ha ayudado en todo lo que ha podido y a mi tía Rosa que ha sido prácticamente una segunda mamá, dando cariño incondicional. A mis tíos, que han sabido dar un cariño paternal que pensé nunca tener, tío Raúl, tío Chicho y tío Chilo gracias por todo. A mis primos, Raúl, Camila, Juan Sonido, Dominique, Victoria y Hugo, siempre dando un cariño de hermanos. Gracias a todos por todo.

He decido dedicar un agradecimiento especial al deporte que tanto amo, el basquetbol, que siempre me ayudo a despejar mi mente en momento de estrés, de penas y alegrías, me ayudo a conocer gente, trabajar en equipo y a destacarme en algo que en verdad me gusta. Gracias por todo querido baloncesto.

Valparaíso, 28 de febrero de 2017

J. B

Resumen

En este trabajo se presenta la construcción y diseño de una base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas, que está destinada a ser utilizada en trabajos acústicos para obtención de HRTFs personalizadas. Esta base de datos lleva por nombre “PUCV-iHRTF” y almacena información de modelos 3D CAD y de los datos que permitieron su construcción. La base de datos “PUCV-iHRTF” es una base de datos jerárquica, tipo árbol, que tiene una estructura lógica de siete niveles y está diseñada para que pueda ser incorporada otro tipo de información sin ningún inconveniente, como las respuestas de las ondas sonoras que se pretenden medir o simular en los próximos trabajos.

Para la construcción de los modelos 3D CAD se utiliza la fotogrametría, técnica que permite extraer información tridimensional por medio del traslape de imágenes bidimensionales. Para la construcción de los modelos 3D CAD de las cabezas y orejas que se almacenaron en la base de datos fueron creados con el software 3DF Zephyr, el cual utiliza la fotogrametría como técnica para la generación de modelos 3D CAD. Para ello es necesario realizar una sesión fotográfica aplicada a cabezas y a las orejas. Las imágenes obtenidas en estas sesiones fueron procesadas por 3DF Zephyr obteniéndose como resultado final una malla constituida por miles de puntos unidos por polígonos triangulares. Son estas mallas las que deben ser ingresadas a la base de datos junto a todos los archivos que permitieron su construcción

En este trabajo se hace un reconocimiento a CONICYT por apoyar esta investigación con el proyecto FONDECYT #11150388 llamado “Hybrid method for obtaining individual Head Related Transfer Function (HRTF): pinna molding and head-torso photogrammetric 3D reconstruction”

Palabras claves: HRTF, 3D CAD, PUCV-iHRTF, 3DF Zephyr, fotogrametría.

Abstract

This paper presents the construction and design of a database of 3D CAD models of heads and ears, which is intended to be used in acoustic work to obtain personalized HRTFs. This database is named "PUCV-iHRTF" and stores 3D CAD model information and data that allowed its construction. The database "PUCV-iHRTF" is a hierarchical database, tree type, which has a logical structure of seven levels and is designed so that other information can be incorporated without any inconvenience, such as the responses of sound waves to be measured or simulated in future works.

For the construction of 3D CAD models, photogrammetry is used, a technique that allows the extraction of three-dimensional information through the overlapping of two-dimensional images. For the construction of the 3D CAD models of the heads and ears that are stored in the database were created with 3DF Zephyr software, which uses photogrammetry as a technique for the generation of 3D CAD models. For this it is necessary to make a photographic session applied to heads and ears. The images obtained in these sessions were processed by 3DF Zephyr obtaining as final result a mesh constituted by thousands of points united by triangular polygons. It is these meshes that must be entered into the database with all the files that allowed its construction

In this work, CONICYT is recognized for supporting this research with the project FONDECYT # 11150388, named "Hybrid method for obtaining individual head Related Transfer Function (HRTF): pinna molding and head-torso photogrammetric 3D reconstruction"

Key words: HRTF, 3D CAD, PUCV-iHRTF, 3DF Zephyr, photogrammetry

Índice general

Introducción.....	1
1 Propuesta del proyecto	4
1.1 Objetivos generales.....	4
1.2 Objetivos específicos	4
2 Localización del sonido y obtención de una HRTF	6
2.1 Localización del sonido en el plano horizontal.....	6
2.2 Diferencias interaurales de intensidad (ILD)	7
2.3 Diferencias interaurales de tiempo (ITD)	8
2.4 Función de transferencia relativa a la cabeza (HRTF)	9
2.5 Obtención de una HRTF.....	10
2.5.1 Método de obtención directa: Medición	10
2.5.2 Método de obtención indirecta: Simulación	10
2.6 Conclusiones del capítulo	11
3 Fotogrametría y 3DF Zephyr	13
3.1 Fotogrametría.....	13
3.2 3DF Zephyr	14
3.2.1 Structure from Motion	14
3.2.2 Multi-View Stereo	15
3.2.3 Mesh Extraction.....	16
3.3 Puntos de control	17
3.4 Conclusiones del capítulo	17
4 Base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas individualizadas.....	19
4.1 Modelo de base de datos	19
4.1.1 Base de datos relacionales	19
4.1.2 Base de datos jerárquicas.....	19
4.1.3 Base de datos de red.....	20
4.2 Base de datos PUCV-iHRTF	21
4.2.1 Estructura lógica de base de datos PUCV-iHRTF	21
4.2.2 Nivel uno o nodo raíz	22

4.2.3 Nivel dos: participantes	22
4.2.4 Nivel tres: cabezas, orejas y datos personales.....	22
4.2.5 Nivel cuatro, método de obtención de modelos 3D.....	23
4.2.6 Nivel cinco, contenedores de información y diferenciación de orejas	23
4.2.7 Nivel seis, nodos hojas y contenedores de información.....	24
4.2.8 Nivel siete, nodo hojas	24
4.2.9 Metadata	24
4.3 Trabajos futuros, almacenamiento de HRTFs.....	25
4.4 Conclusiones del capítulo	26
5 Adquisición de datos	27
5.1 Consentimiento informado	27
5.2 Sesión de alginato	28
5.3 Sesión fotográfica.....	31
5.3.1 Sesión fotográfica aplicada a las cabezas	32
5.3.2 Sesión fotográfica aplicada en las orejas	35
5.4 Procesamiento de imágenes fotográficas	35
5.5 Unión de modelos 3D CAD	40
5.6 Conclusiones del capítulo	42
Discusión y conclusiones.....	43
Bibliografía	45
A Consentimiento informado.....	47

Introducción

El sistema auditivo tiene la capacidad de ubicar en el espacio una fuente de sonido. Esto debido a que el oído es un sofisticado procesador espacial, que permite detectar y posicionar fuentes sonoras en el espacio [1]. Se puede entender que el oído humano funciona como un filtro, el cual depende de las características anatómicas de cada individuo. Existen tres factores que permiten a los seres humanos la localización de fuentes sonoras, estas son las diferencias interaurales de intensidad (ILD, *Interaural Level Difference*), las diferencias interaurales de tiempo (ITD, *Interaural Time Difference*) y las funciones de transferencias relativas a la cabeza (HRTF, *Head Related Transfer Function*) [1]. Hoy en día se sabe que tanto las ILD como las ITD son parte de las HRTF.

La anatomía del cuerpo provoca cambios en las ondas acústicas mientras se propagan hasta llegar al oído. Estos cambios son generados por reflexiones, difracciones y resonancias en la onda, producidos específicamente por el torso, la cabeza, el canal auditivo y la pinna. Este último hace referencia a la parte exterior de la oreja. Estos cambios en la onda acústica es lo que se conoce como función de transferencia relacionada a la cabeza (HRTF). Las HRTF son únicas e individuales y dependen de la posición entre la fuente sonora y la oreja del receptor. Pueden ser ampliamente utilizadas en varios campos y aplicaciones, como por ejemplo grabaciones y reproducciones de sonido 3D, videoconferencias que dan una sensación de realidad aumentada, cabinas de aviones militares, en video juegos de realidad virtual e incluso aplicaciones médicas, como lo son tratamientos psiquiátricos [2].

Existen dos métodos para la obtención de una HRTF. El primer método es a través de mediciones acústicas, las cuales se hacen en cabezas reales o en maniquís (*dummy head*). Se insertan micrófonos en los canales auditivos, luego se ubican las fuentes sonoras alrededor de la cabeza, que envían señales que son grabadas por estos micrófonos entregando las HRTF deseadas. El segundo método es por medio de simulaciones acústicas. Esto se puede realizar mediante el método de elementos de contorno (BEM, *Boundary Element Method*), el cual es una herramienta de cálculo numérico [3], que permite obtener las HRTF por medio de modelos 3D CAD de cabezas y orejas de personas.

Para la obtención de modelos 3D CAD de cabezas y orejas de este proyecto se utiliza un método fotogramétrico, como el realizado en el proyecto de titulación de Rodrigo Codoceo [4]. Las pinnas a diferencia de la cabeza, no pueden ser sometidas directamente a un proceso fotogramétrico,

debido a que presentan muchas sombras, donde a la luz muchas veces le es difícil llegar. Para poder aplicar fotogrametría a la oreja, es necesario crear una réplica de ella y a esta réplica someterla a un método fotogramétrico. Las réplicas de las pinnas se pueden obtener gracias a un molde de alginato el cual funciona como un negativo [5]. Los modelos 3D CAD de la cabeza y orejas se generan por separado, por lo que se debe buscar una forma de unirlos. Un Modelo 3D CAD de cabeza y orejas unificado puede ser sometido a simulaciones acústicas para la obtención de una HRTF.

Sabiendo esto, nace la necesidad de crear una base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas personalizadas, junto con los resultados intermedios para su obtención, con el fin de poder desarrollar mediciones o simulaciones acústicas en la obtención de HRTF individualizadas o construcciones de dummy head personalizadas para este mismo fin.

Existen varios tipos de base de datos, que van desde bases de datos complejas como lo son las bases de datos relacionales, hasta base de datos más sencillas como las base de datos jerárquicas. Estas últimas son ideales para tener datos de manera ordenada y de fácil acceso, sin tener que recurrir a un lenguaje de programación. En este trabajo se propone crear y diseñar una base de que llevara por nombre "PUCV-iHRTF". Para el diseño de esta base de datos se tomó en cuenta los datos que deben ser incorporados en ella. Solo para la construcción de un modelo 3D CAD se necesita de al menos unas ciento veinte fotografías en formato JPG, con sus respectivas máscaras en formato BIM, más los datos que se generan al crear un modelos 3D CAD, en formato ZEP y STL y datos personales en formato XML. Además como se ha mencionado anteriormente la base de datos se pretende utilizar en trabajos futuros para la obtención de HRTF personalizadas, por lo que se agregaran aún más datos en formatos que aún no se han definidos.

Considerando la gran cantidad y variedad de los datos que se incorporaran a la base de datos PUCV-iHRTF, se optó por diseñar una base de datos jerárquica. Este tipo de base de datos toma la forma de árbol invertido, partiendo de un nodo raíz y terminado en los nodos hojas. La base de datos posee una estructura lógica de siete niveles, partiendo por el nodo raíz, que no posee nodos padres pero si nodos hijos, en el nivel uno y terminando en el nivel siete con los nodos hojas, los cuales no poseen nodos hijos pero si un nodo padre.

Una vez diseñada la base de datos debe hacerse el proceso de adquisición de los datos, el cual no se puede llevar a cabo sin que antes los participantes (a quienes se les modelaran sus orejas y cabezas en 3D), se les realice una solicitud de consentimiento informado, la que deben firmar para poder ser sometidos al modelamiento 3D de sus cabezas y orejas. Una vez firmado el documento ya es posible modelar las cabezas y orejas de los participantes, pero para poder poblar la base de datos con estos modelos 3D CAD de orejas y cabezas es esencial contar con el uso de un software adecuado que permita la construcción de estos modelos. 3DF Zephyr es un software que permite la creación de modelos 3D CAD a través de la técnica fotogramétrica, unir modelos 3D CAD, medir distancias entre puntos en el modelo 3D CAD e incluso exportar archivos 3D en distintos formatos 3D CAD. Por ello este software es fundamental en la adquisición de los datos. En este trabajo se presentan capítulos destinados exclusivamente al diseño de la base de datos y

la adquisición de los datos de forma más detallada, que permitirán una mejor comprensión del trabajo realizado.

Finalmente con este trabajo se pretende abrir nuevas puertas en el camino de la investigación acústica, de tal forma que los modelos 3D CAD de las cabezas y orejas presentes en esta base de datos sean utilizados a futuro en la obtención de HRTF personalizadas por medio de simulaciones acústicas o en la creación de *dummy head* personalizadas para este mismo fin, pero a través de mediciones acústicas.

1 Propuesta del proyecto

El proyecto lleva por nombre “generación de una base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas”, el cual es parte del proyecto FONDECYT llamado “Hybrid method for obtaining individual Head Related Transfer Function (HRTF): pinna molding and head-torso photogrammetric 3D reconstruction” y busca generar modelos 3D de la cabeza y orejas individualizadas.

Muchos estudios respaldan la capacidad que tiene el sistema auditivo para localizar fuentes sonoras en el espacio. Esta capacidad es atribuida a las funciones de transferencia referida a la cabeza (HRTF. *Head Related Transfer Function*), la cual es única en cada individuo, ya que depende de las características anatómicas de cada persona. Obtener la HRTF de una persona se puede obtener a través de mediciones acústicas, colocando micrófonos en los oídos de las personas o *dummy head*. Otra forma de obtener estas HRTF es a través de simulaciones acústicas utilizando modelos 3D CAD de cabezas y orejas. Sabiendo esto, existe la necesidad de crear una base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas individualizadas, para la obtención de HRTF personalizadas a través de mediciones o simulaciones acústicas.

El trabajo realizado consiste en crear y diseñar una base de datos de modelos 3D CAD de orejas y cabezas personalizadas, de tal forma que esta pueda ser utilizada en otros proyectos de investigación en la obtención de HRTF individualizadas. Este trabajo presenta ciertos objetivos que son presentados a continuación.

1.1 Objetivos generales

- El principal objetivo de este proyecto es la creación de una base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas individualizadas, de tal forma que pueda ser utilizada a futuro en otros proyectos de investigación en la obtención de HRTF individualizadas.

1.2 Objetivos específicos

- Diseñar la estructura de la base de datos poblarla con los datos de veinte participantes, que serán sometidos a proceso fotogramétrico para la obtención de los modelos 3D CAD de sus cabezas y orejas.

- Aplicar un correcto método para la obtención de los datos 3D CAD, tanto de orejas como de cabezas.
- Crear réplicas de yeso de orejas haciendo uso de alginato, para que puedan ser utilizadas en otros métodos de obtención de modelos 3D CAD como otra alternativa.
- La base de datos debe permitir integrar otros métodos de obtención de modelos 3D CAD que no sea tan solo fotogrametría, como por ejemplo generación de modelos 3D CAD a partir de un scanner.

2 Localización del sonido y obtención de una HRTF

El ser humano tiene la capacidad de identificar de donde proviene una fuente de sonido, incluso puede determinar a qué distancia se encuentra sin la necesidad de recurrir a la vista. Esto se logra conjuntamente con el procesamiento cerebral y las características anatómicas de cada oyente.

Existen tres factores que permiten a los seres humanos la localización del sonido: las diferencias interaurales de intensidad (ILD, *Interaural Level Difference*), interferencia interaurales de tiempo (ITD, *Interaural Time Difference*) y las funciones de transferencia relativas a la cabeza (HRTF, *Head Related Transfer Functions*), cuyos parámetros están estrictamente relacionados con las características fisiológicas de cada individuo [1]. Hoy en día se sabe que las ILD e ITD son parte de las HRTF, siendo las primeras principalmente visibles en la respuesta al impulso mientras que las HRTF en el espectro.

La HRTF describe las influencias que ejerce la anatomía humana en la percepción de la ubicación de la fuente sonora y la respuesta de amplitud y fase en función de la frecuencia [4]. Los cambios que sufre el sonido hasta llegar al oído pueden describirse como si la presión sonora estuviese bajo el efecto de un ecualizador de gran detalle que cambia sus características dependiendo de la dirección de la cual proviene el sonido [5].

2.1 Localización del sonido en el plano horizontal

Para la localización de una fuente sonora en el espacio es necesario referirnos a un sistema de coordenadas, por medio del cual se pueda especificar los parámetros que tenga en cuenta el receptor del sonido para ubicar una fuente de estas características. Para ello se recurre al sistema de coordenadas esféricas, donde se define la posición de la fuente a través de una distancia (r) respecto al receptor y dos ángulos, uno medido en el plano horizontal, denominado ángulo de azimut (ϕ) el cual se considera 0° cuando la fuente está frente al receptor. El otro que se eleva sobre el plano horizontal y mide la pendiente del vector (r) con origen en el centro de la cabeza del oyente, este es el ángulo de elevación (θ) [7].

En la figura 2-1 se muestran las coordenadas esféricas con los planos que las conforman y los ángulos anteriormente mencionados.

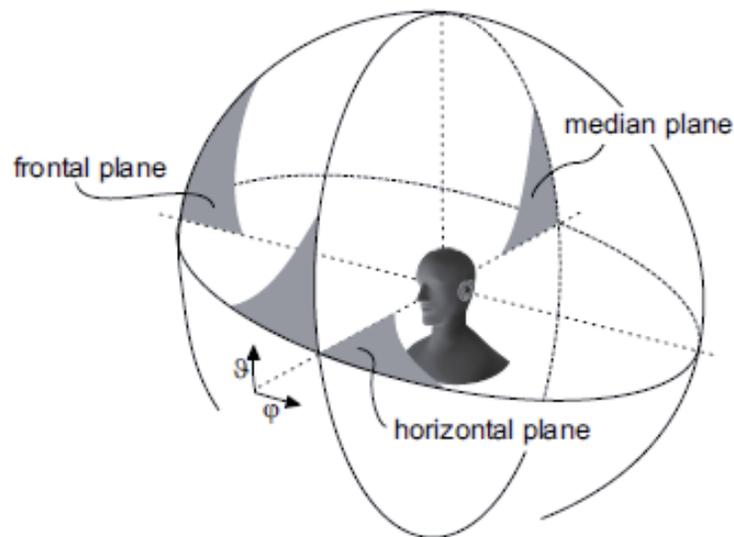


Figura 2-1 Coordenadas esféricas donde ϕ es el ángulo de azimut y θ el ángulo de elevación [3].

2.2 Diferencias interaurales de intensidad (ILD)

Las diferencias interaurales de intensidad generalmente son provocadas por las diferentes distancias que deben recorrer las ondas para llegar a los oídos. Pero también son provocadas por la sombra acústica de la onda sonora producida por la cabeza del individuo [7]. Con lo que se puede concluir que el ILD es independiente de la frecuencia [1]. En la figura 2-2 se muestra la sombra acústica que genera la cabeza.

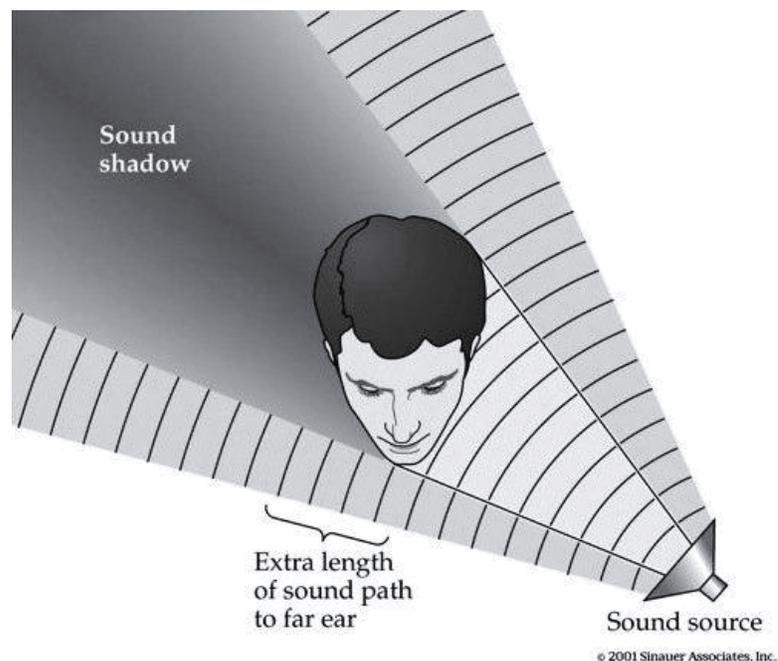


Figura 2-2 Sombra acústica generada por la cabeza [8]

Si una fuente sonora es ubicada simétricamente en frente, atrás, arriba o abajo del receptor, esta será percibida con la misma intensidad acústica en ambos oídos. En cambio si la fuente se encuentra unos grados más a la derecha o a la izquierda respecto a estas cuatro posiciones, la percepción de la intensidad de la fuente se inclinara más hacia un oído. Este será el oído que está más cercano a la fuente de sonido.

Las ILD son prácticamente despreciables para frecuencias inferiores a los 500 Hz, ya que la difracción del sonido provocado por la sombra acústica es poca. Al contrario, para frecuencias sobre los 4 KHz la sombra acústica es importante [1].

2.3 Diferencias ineraurales de tiempo (ITD)

La onda de sonido recorre diferentes caminos antes de llegar a los oídos. Esto provoca que la onda llegue en instantes distintos a cada uno de ellos. Esta diferencia en los tiempos de llegada es lo que se conoce como diferencias ineraurales de tiempo.

Es posible calcular la ITD de manera geométrica. Esto se puede representar en la figura 2-3, donde se aprecia que el sonido llega a los oídos en momentos distintos, por los caminos que recorre la onda sonora para llegar a cada oído, como se dijo anteriormente.

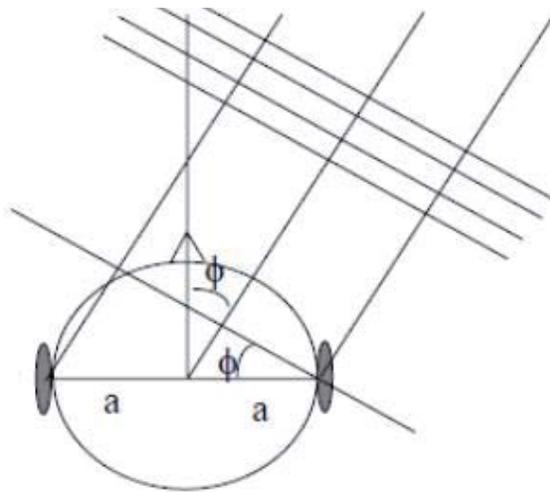


Figura 2-3 Diferencia inter-aural del tiempo (ITD) [1].

De la figura 2-2 se puede llegar a la siguiente expresión:

$$ITD = \frac{a}{c} (\Phi + \sin \Phi), \quad -90^\circ \leq \Phi \leq 90 \quad (2-1)$$

c: Velocidad del sonido en el aire, $340 \left[\frac{m}{s} \right]$

a: Mitad del diametro de la cabeza

Φ: Angulo de azimut

Según la ecuación (2-1) la diferencia es cero cuando la fuente está justo delante del sujeto y tiene un máximo cuando la fuente está en un lado. Para una cabeza humana típica el ITD máximo tiene un valor de 0,7 ms. Esto puede verse reflejado en la figura 2-4. que muestra la diferencias interaurales de tiempo en función a los distintos ángulos (azimut), que van tomando las fuentes sonoras.

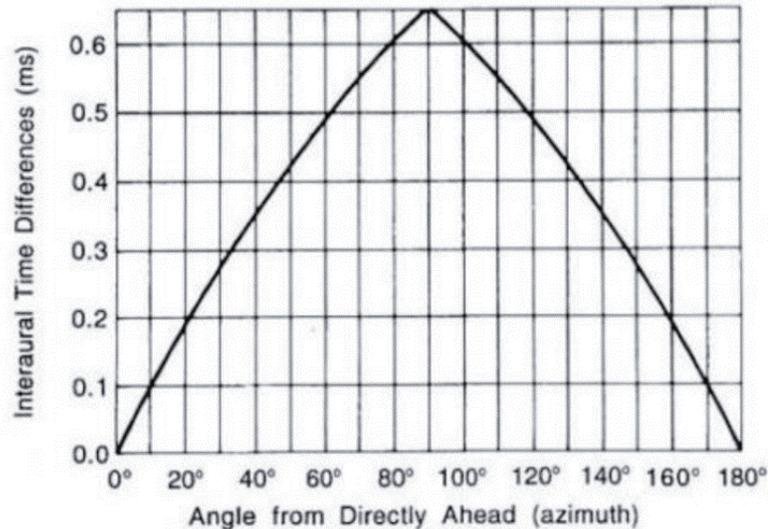


Figura 2-4 Retraso temporal en función del ángulo [1].

2.4 Función de transferencia relativa a la cabeza (HRTF)

Si se ubica una fuente de sonido en cualquier punto del plano medio, la onda sonora llega a los oídos al mismo tiempo y con la misma intensidad, por lo que no es posible localizar la fuente por medio del ITD ni del ILD [7]. Debido a esto se llegó a la conclusión que la cabeza junto al pabellón auricular modifican el espectro de los sonidos en relación al ángulo de incidencia de la fuente sonora respecto a la cabeza [1]. Esto fue lo que dio lugar a la HRTF, que describe las influencias que ejerce la anatomía humana en la localización del sonido en el espacio. Las HRTF dependen de la frecuencia, de la distancia entre receptor y fuente, del ángulo de azimut y del ángulo de elevación [7].

La HRTF se define como la respuesta en frecuencia del oído, tanto del oído izquierdo como del derecho de un individuo. Las HRTF son individuales, ya que lo que hace la diferencia entre una HRTF y otra son las características anatómicas de cada individuo. Cuando una onda sonora se propaga interactúa con la cabeza, torso y orejas de una persona y son interpretadas por el cerebro para entender la ubicación de las fuentes de sonido a nuestro alrededor [9].

Como se dijo anteriormente las HRTFs son individuales y para poder obtenerlas es necesario contar con cierta información anatómica. Es esta información la que se almacenara en la base de datos que se presenta en este trabajo para que pueda ser utilizada en la obtención de una HRTF personalizada utilizando cualquiera de los métodos que se mencionan a continuación.

2.5 Obtención de una HRTF

Las funciones de transferencia relacionadas con la cabeza se pueden determinar mediante dos técnicas diferentes, una de aplicación directa al oyente y otra indirecta, las cuales se describen a continuación.

2.5.1 Método de obtención directa: Medición

Este método permite obtener la HRTF midiendo la respuesta del impulso relacionado con la cabeza (HRIR, *Head Related Impulse Response*) justo en el tímpano. Este método se puede llevar a cabo tanto en cabezas reales como en dummy head. Normalmente se inserta un micrófono en los canales auditivos y se posicionan las fuentes alrededor de la cabeza. Luego se mueven los altavoces a las posiciones deseadas de esta forma los micrófonos empiezan a medir las HRTF de forma individualizada. Esto se puede apreciar en la figura 2-5 donde se posicionan las fuentes sonoras alrededor de un individuo.



Figura 2-5 Medición de una HRTF [9]

Un efecto deseable de medición es por medio de una señal de excitación que contiene un barrido con el espectro de frecuencias audibles. La respuesta es capturada por un maniquí o *dummy head* y comparada con la señal original. Por supuesto siempre existe una cantidad de ruido que reduce la certeza de la medición. Sin embargo, es deseable usar señales de excitación con alta energía para obtener una buena relación señal-ruido en todo rango de frecuencia de interés [5].

2.5.2 Método de obtención indirecta: Simulación

El segundo método de obtención de una HRTF es a través la simulación numérica. Con el método de elementos de contorno (BEM, *Boundary Element Method*) es posible obtener una función de transferencia referida a la cabeza. Este método es un procedimiento numérico que se utiliza para

el cálculo de una superficie cerrada finita [3]. Superficies que pueden ser modelos 3D CAD de cabezas y orejas. En la figura 2-6 se muestra un modelo 3D CAD rodeado de las fuentes sonoras que serán simuladas para la obtención de HRTF a través del método de elementos de contorno.

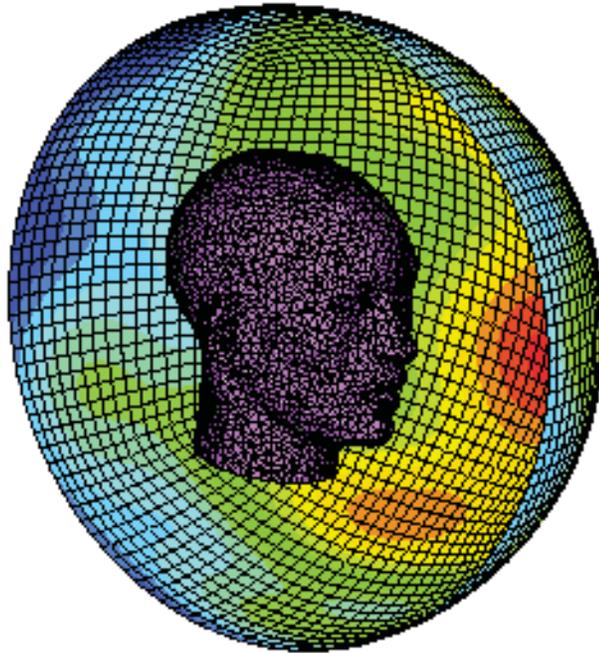


Figura 2-6 Simulación acústica en la obtención de una HRTF

La simulación con este método, es una herramienta que podría requerir de una inmensa capacidad computacional, debido a los ángulos de incidencia de todas las fuentes sonoras que se desean simular.

Para poder aplicar el BEM en modelos 3D CAD dependerá de la malla de estos, de su tamaño y que tan detallada es. Se recomienda que las mallas tengan entre 2100 y 6800 puntos por modelos 3D CAD [3]

2.6 Conclusiones del capítulo

Las HRTFs son individuales y dependen de las características anatómicas de las personas, principalmente de la forma de la cabeza y del pabellón auricular. Esto quiere decir que parte de la información que almacenara la base de datos que se presenta en este trabajo, debe contener esta información anatómica para su uso en la obtención de HRTFs personalizadas.

El método indirecto consiste en simulaciones acústicas. Utilizando el método de elementos de contorno se pueden obtener HRTFs. Para ello es necesario tener modelos 3D CAD tanto de cabezas como de orejas, que es la información anatómica que se almacenara en la base de datos de este trabajo y que será principalmente el trabajo realizado en esta tesis.

2 Localización del sonido y obtención de una HRTF

El método directo de obtención de una HRTF consiste en colocar micrófonos en los oídos de los sujetos a prueba y posicionar fuentes sonoras alrededor de estos. Como la información de la base de datos que se presenta en este trabajo tendrá información anatómica de las personas, específicamente la forma de sus cabezas y orejas, se pueden construir *dummy head* personalizadas para la aplicación del método directo, sin la necesidad de estar colocando micrófonos directamente micrófonos en los oídos de las personas. Estas *dummy head* personalizadas pueden crearse a partir de impresoras 3D.

3 Fotogrametría y 3DF Zephyr

Existe la necesidad de crear un modelo 3D CAD para la obtención de una HRTF individualizada. Para la construcción de un modelo 3D CAD se hará uso de técnicas fotogramétricas. Pero es necesario contar con una herramienta que sea capaz de aplicar estas técnicas. En otras palabras, un software que permita realizar la construcción de un modelo 3D CAD por medio de la fotogrametría. El software elegido para realizar esta función tiene por nombre 3DF Zephyr [10] y cuenta con una serie de pasos y procesos que hacen posible la construcción exitosa de un modelo 3D CAD.

3.1 Fotogrametría

La fotogrametría básicamente es una técnica de medición de coordenadas 3D, también llamada captura de movimiento (*structure from motion*, en inglés), que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición [9]. Esta técnica permite determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. Puede ser de corto o largo alcance. Si se trabaja con una foto se puede obtener información bidimensional., pero si se hace con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de solape), se puede tener visión estereoscópica, es decir, información tridimensional [9].

La zona de solape es de vital importancia en la fotogrametría, ya que entre más traslape exista entre las fotografías tomadas a un objeto, mayor será la información tridimensional extraída de las imágenes.

En la figura 3-1 se muestra un modelo 3D CAD creado a partir de técnicas fotogramétricas. En la imagen se puede observar las fotografías tomadas al objeto desde distintas perspectivas que permitieron la creación de su modelo 3D CAD.



Figura 3-1 Modelo 3D CAD creado con técnica fotogramétrica [9]

3.2 3DF Zephyr

Para poder construir un modelo 3D por medio de la técnica de fotogrametría se debe hacer uso de un software que se encargue de procesar las fotografías tomadas. El software que se utilizara en este trabajo es 3DF Zephyr. Este software permite realizar modelos 3D por medio de fotografías tomadas a un mismo objetivo desde diferentes ángulos. Para la construcción de un modelo 3D con 3DF Zephyr las fotografías pasan por distintos procesos que este realiza con el fin de cumplir este objetivo.

3.2.1 Structure from Motion

Structure from Motion o estructura del movimiento, se refiere a la recuperación de la geometría tridimensional de la escena que se quiere modelar. El resultado buscado es generalmente una nube de puntos 3D no estructurada, que consta de los puntos claves que fueron identificados en la escena y un conjunto de matrices de cámara, identificando la posición y dirección de cada imagen con respecto a un marco de referencia arbitrario. Las imágenes se van tomando una a la vez y obteniendo los puntos claves entre cada una de ellas, por tanto se genera un llamado árbol binario, donde cada “hoja” es una imagen única y los nodos son reconstrucciones parciales como se muestra en la Fig. 3-2 [10].

Por lo tanto se necesita una gran cantidad de imágenes para proporcionar información tridimensional suficiente al inicio de la construcción del modelo 3D. En este primer paso se espera una nube de puntos no estructurada como la que se aprecia en la figura 3-3.

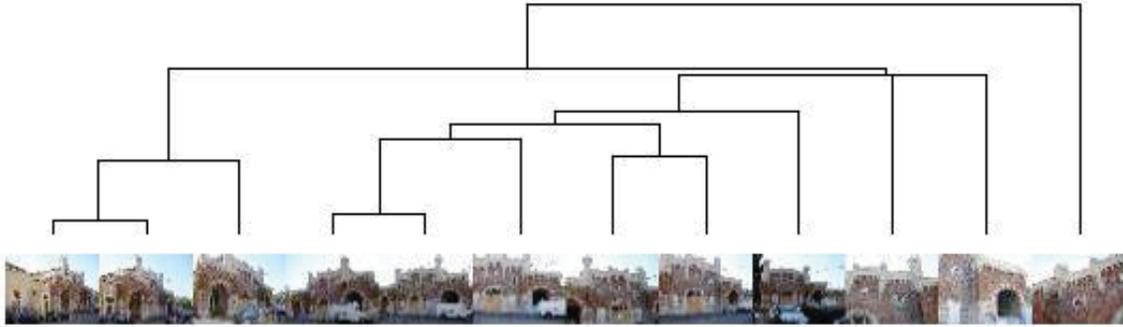


Figura 3-2 Árbol binario de un set de 12 fotografías [10]



Figura 3-3 Nube de puntos no estructurada y posicionamiento de cámaras [10]

3.2.2 Multi-View Stereo

El objetivo de la Multi-View Stereo es extraer una densa reconstrucción de la superficie 3D a partir de múltiples imágenes tomadas desde puntos de vista de la cámara conocidos. Este es un problema bien estudiado con muchas aplicaciones prácticas e industriales. Existen equipos especializados para el modelamiento 3D como los lectores láser que entregan reconstrucciones 3D muy precisas y detalladas, sin embargo se basan en un hardware caro, difícil de transportar y más bien complejo para establecer, especialmente para reconstrucciones al aire libre a gran escala. El algoritmo se centra en la precisión, velocidad y escalabilidad [10]. Además, se puede integrar sin problemas como continuación del proceso anterior ya que se aprovecha de la nube de puntos escasa y su información de visibilidad.

En la fig. 3-4 se puede apreciar la nube de puntos densa que se crea a partir de la nube de puntos no estructurada, la cual ahora presenta una mayor densidad de información tridimensional y comienza a adquirir una mayor nitidez la forma física del objeto en cuestión.



Figura 3-4 Nube de puntos densa obtenida en el proceso Multi-View Stereo [10].

3.2.3 Mesh Extraction

Por último el proceso de obtención de la malla consta de unir por medio de segmentos los puntos generados en la nube densa producida en el algoritmo de multi-vista estéreo, el resultado son polígonos triangulares que forman una estructura sólida y final [4].

Esta malla puede ser exportada en múltiples formatos, de tal forma que pueda ser compatible con una gran cantidad de softwares que permitan trabajar con modelos 3D CAD. Entre estos formatos se encuentra el formato STL, el cual es compatible con la mayoría de los softwares de modelamiento 3D.

En la figura 3-5 es posible apreciar la malla generada en este proceso donde el modelo ha tomado aún mayor nitidez que el proceso anterior y se ha filtrado lo que no se quiere modelar.

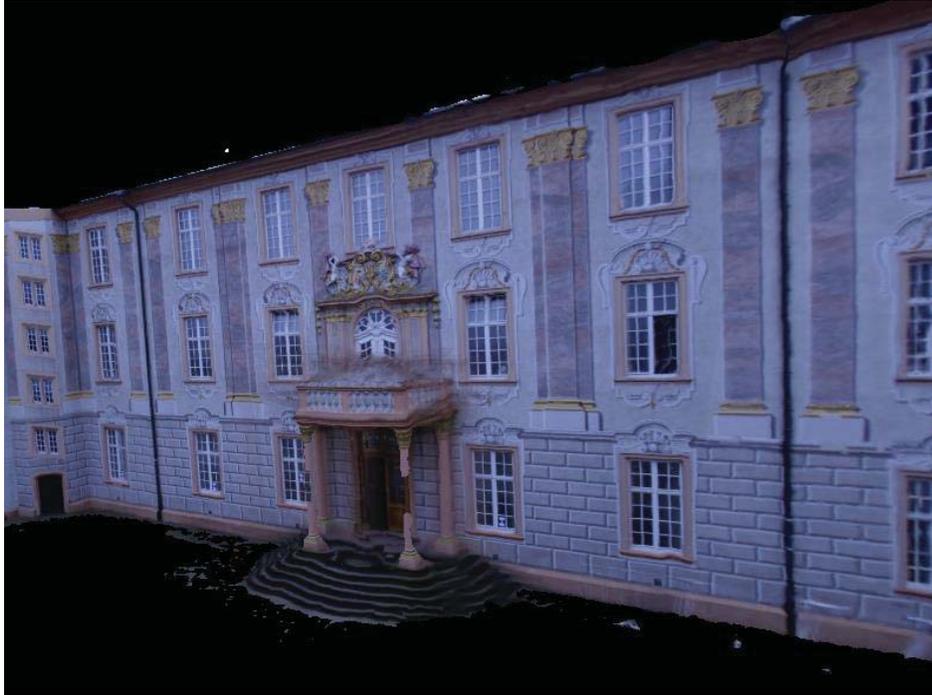


Figura 3-5 Malla obtenida en el proceso Mesh Extraction [10].

3.3 Puntos de control

Los puntos de control son una herramienta del software 3DF Zephyr. Esta herramienta permite medir distancias entre puntos en un modelo 3D CAD y escalar distancias entre puntos. Los puntos de control también sirven como referencia para poder unir modelos 3D CAD. Para poder realizar esto se debe agregar un punto de control en ambos modelos, luego importar desde cualquiera de los modelos el modelo que se desea unir. La importación debe hacerse en el mismo punto, de esta forma los modelos quedan juntos.

3.4 Conclusiones del capítulo

En la generación de modelos 3D CAD con la técnica fotogramétrica, la esta información tridimensional es extraída gracias a que las imágenes bidimensionales se traslapan en las zonas o puntos que tengan en común. Es por esta razón que para generar un buen modelo 3D CAD debe realizarse con una gran cantidad de fotografías, de esta forma se garantiza que habrá suficiente traslape entre las imágenes.

3DF Zephyr es el software que permite implementar la fotogrametría y que se utilizara en este trabajo para la obtención de los modelos 3D CAD de las cabezas y orejas que serán agregados a la base de datos.

La malla generada en el proceso Mesh Extraction del software 3DF Zephyr, es el resultado final de un modelo 3D CAD. Son estas mallas las que deben ser incorporadas a la base de datos junto con todas las fotografías que permitieron la creación de esta.

Los puntos de control permiten unir modelos 3D CAD, por lo que esta herramienta será muy útil al momento de unificar los modelos 3D CAD de las cabezas y orejas. Esta cabeza con orejas debe ser ingresada a la base de datos al igual que los modelos que la componen.

4 Base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas individualizadas

Es necesario crear una base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas para la utilización de estos modelos 3D CAD en proyectos futuros como simulaciones y mediciones acústicas para la obtención HRTE. Es por esto que para construir una base de datos es necesario definir qué tipo de base de datos se implementará, su estructura, y una vez definido esto comenzar a poblarla.

4.1 Modelo de base de datos

Un modelo de base de datos es básicamente un contenedor de datos. Algunos de los principales modelos serán mencionados a continuación en este capítulo.

4.1.1 Base de datos relacionales

Este modelo de base de datos es muy utilizado para administrar datos dinámicos. Su idea fundamental se basa en el uso de relaciones entre los datos. En este modelo, la forma en cómo se almacenan los datos no tienen mucha relevancia, pues lo importante es la relación que existe entre los datos.

En las bases de datos relacionales los usuarios pueden recuperar la información almacenada por medio de “consultas” que permiten administrar la información. El lenguaje más habitual para poder construir estas consultas en base de datos relacionales es a través del lenguaje estructurado de consultas, (SQL, *Structured Query Language*), un estándar implementado por los principales motores o sistemas de gestión de base de datos relacionales [11].

4.1.2 Base de datos jerárquicas

En este modelo, los datos se organizan en una forma similar a un árbol invertido, donde un “nodo padre” de información puede tener varios hijos, los que a su vez tienen más hijos. El nodo que no tiene padres es denominado raíz, mientras que los nodos que no tienen hijos se denominan hojas.

Las bases de datos jerárquicas, son muy útiles para aplicaciones que manejan un gran volumen de información y datos muy compartidos, permitiendo crear estructuras estables y de gran rendimiento. En la figura 4-1 se puede apreciar un esquema de un modelo de base de datos

jerárquicas, donde se muestra la forma de árbol invertido que van tomando los datos, partiendo de un nodo raíz, hasta llegar a las hojas que son los nodos que contienen la información.

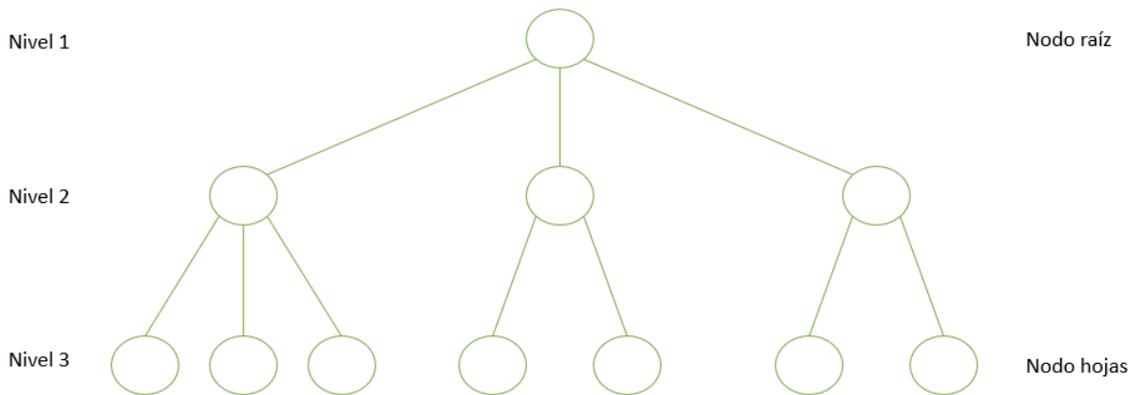


Figura 4-1 Esquema de base de datos jerárquicas.

4.1.3 Base de datos de red

Este modelo es ligeramente distinto al modelo jerárquico. La única diferencia radica en que los nodos hijos pueden tener uno o varios nodos padres, lo que no es permitido en el modelo jerárquico. En la figura 4-2 se muestra un modelo de red.

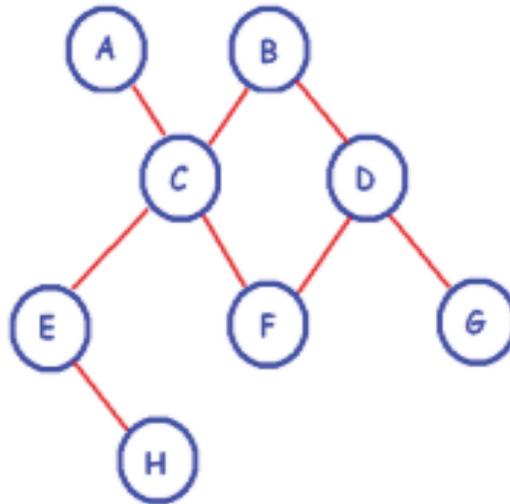


Figura 4-2 Esquema de base de datos de red

4.2 Base de datos PUCV-iHRTF

La base de datos para el almacenamiento de modelos 3D CAD de cabezas y orejas individualizadas lleva por nombre “PUCV-iHRTF”. Recibe este nombre por la casa de estudios donde se está realizando esta base de datos Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) y al objetivo principal por el cual se está construyendo esta base de datos, la obtención individualizada de funciones de transferencias referidas a la cabeza (iHRTF, *individual Head Related Transfer Funtion*). A continuación se presentara la estructura lógica que compone esta base de datos.

4.2.1 Estructura lógica de base de datos PUCV-iHRTF

Para la construcción de la base de datos de modelos 3D CAD, hay que tener en cuenta la gran cantidad y variedad de datos que deben ser incorporados en esta. Solo para la construcción de un modelo 3D se necesitan una gran número de fotografías (.jpg) y máscaras (.bim), más los datos que se obtienen al generar los modelos 3D, como archivos en formato “.zep” y “.stl” y otros datos personales que son incorporados en archivos en formatos “.xml”. Considerando variedad de datos y el volumen de estos, sería muy conveniente construir una base de datos basada en modelo jerárquico.

En la figura 4-3 se muestra un diagrama de flujo donde se presenta la estructura lógica que tendrá la base de datos de modelos 3D CAD. En la figura se ve claramente la forma de árbol que van tomando los datos, donde el nodo raíz es la base de datos PUCV-iHRTF de los modelos 3D CAD y las hojas todos los archivos 3D CAD o que permitieron su construcción.

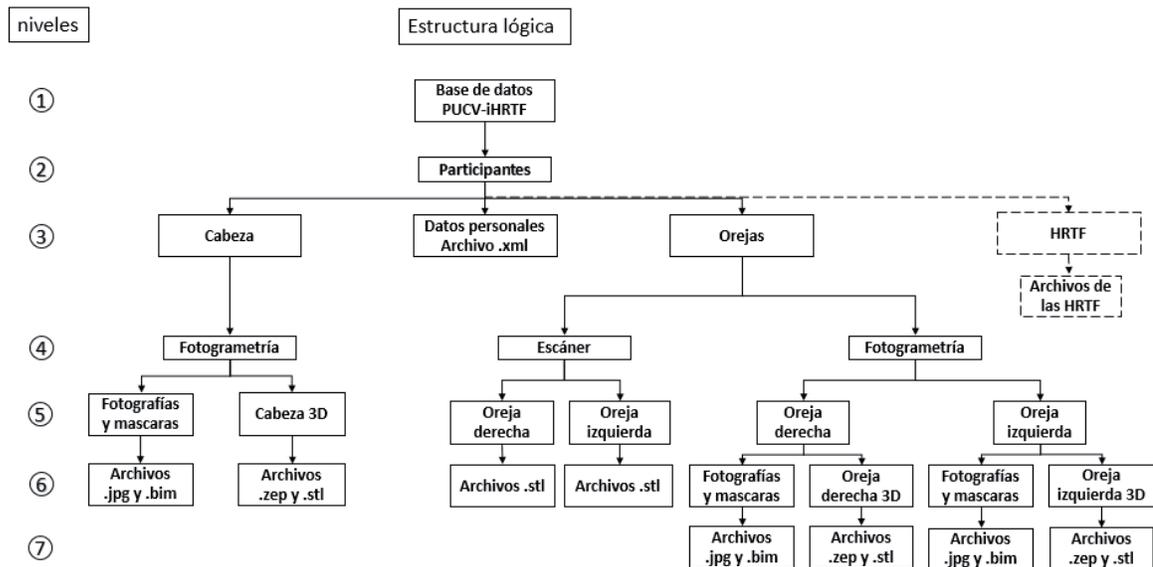


Figura 4-3 Estructura lógica de base de datos PUCV-iHRTF

En la figura es posible apreciar un cuadro punteado que se ubica en el nivel tres de la estructura lógica de la base de dato, este cuadro hace referencia a las HRTF que se serán almacenadas en los trabajos futuros, esto se explica con mayor detalle en la sección 4.4 de este capítulo.

Esta estructura se representará por medio de ficheros o carpetas, los cuales contendrán la información de los modelos 3D CAD y los datos necesarios para su construcción. La estructura lógica presenta varios niveles, siendo el primero el nodo raíz y los últimos niveles los nodos de hojas de esta estructura tipo árbol. A continuación, se definirán los distintos niveles, con sus respectivos contenedores de información.

4.2.2 Nivel uno o nodo raíz

El primer fichero es el nodo raíz, contenedor de toda la información. Este nodo es el nodo padre y representa la base de datos de los modelos 3D CAD. Este fichero lleva el nombre de “PUCV-iHRTF”, nombre de la base de datos.

4.2.3 Nivel dos: participantes

El nivel dos es el hijo del nodo raíz. Este nodo representa a los participantes que serán sometidos al proceso de construcción de modelos 3D CAD de sus cabezas y orejas.

Estas ficheros contenedoras de información llevaran por nombre “SXXX”, donde S representara la abreviación de “*subject*”, sujeto en inglés, y XXX el número que se le otorgara a dicho sujeto, Partiendo del sujeto 001 hasta 999. Por ejemplo, si se quiere seleccionar la carpeta contenedora “S001”, esto quiere decir que se seleccionara la carpeta del sujeto 001.

4.2.4 Nivel tres: cabezas, orejas y datos personales

El nivel tres corresponde a dos ficheros, uno que contiene información de la cabeza y el otro de las orejas del participante, así como también un archivo con formato “.xml” con los datos personales del participante.

La información referente a la cabeza se encuentra en una carpeta que llevan por nombre “HXXX”, siendo H “head” y XXX el número del participante. Así mismo para las carpetas que contienen la información de las orejas, llevan por nombre “EXXX”, siendo E “ear” y XXX el número correspondiente al participante.

Para el caso de los datos personales que se encuentran en el archivo XML, este lleva por nombre “PDXX”, siendo PD “personal data” y XXX el número del participante.

XML es el acrónimo de *eXtensible Markup Language*, que en español sería, Lenguaje Expansible de Marcado. Esto quiere decir que XML es un conjunto de reglas que describen como podemos escribir metainformación en un texto [12].

La metainformación o metadatos son datos sobre datos, que en general describen o dicen algo sobre otro objeto de información [13]. Sabiendo esto, se optó por archivos XML para ingresar los

datos de información personal de los participantes. En la figura 4-4 se muestra el contenido del archivo “PD022” el cual contiene los datos personales del participante número 22.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <subj022>
  <Name Surnames="Gonzales Romero" Names="Alfredo Ignacio"/>
  <Birthdate Year="1994" Month="September" Day="6"/>
  <Gender Gender="Male"/>
  <Height Height="1.81 [mt]"/>
  <Photoshoot_day Year="2016" Month="november" Day="29"/>
</subj022>
```

Figura 4-4 Archivo xml con datos personales del participante 022

4.2.5 Nivel cuatro, método de obtención de modelos 3D

El nivel cuatro corresponde a los nodos hijos de las carpetas “HXXX” y “EXXX”, este nivel hace referencia al tipo de método de obtención de los modelos 3D. Para el caso de las cabezas solo se usa fotogrametría, cuya carpeta es nombrada “PMXXX”, siendo PM “Photogrammetry Method” y XXX el número de participante. Puede que a futuro existan otros métodos más eficientes que la fotogrametría para la obtención de modelos 3D CAD de cabezas, es por esta razón que en este nivel se hace referencia al método de obtención del modelo 3D CAD. Si este fuese el caso, solo habría que agregar un fichero más a este nivel y nombrarlo adecuadamente, especificando el método de obtención.

Para el caso de las orejas existe otro método de obtención del modelo 3D CAD aparte del método fotogramétrico. Este es el método del escáner, con el cual se está trabajando en un proyecto paralelo a este. Por lo que en el nivel cuatro de las orejas en la estructura lógica, se encuentran dos ficheros, uno llamado “SMXXX”, siendo SM “Scanner Method” y XXX el número del participante. El otro se llama “FMXXX” que hace referencia al mismo método fotogramétrico mencionado anteriormente para el caso de las cabezas.

4.2.6 Nivel cinco, contenedores de información y diferenciación de orejas

El nivel cinco afecta de forma distinta a la estructura lógica de la base de datos, tanto para los modelos 3D de cabezas como los de las orejas. Para el caso de las cabezas, se presentan dos ficheros, uno que lleva el nombre “PAMXXX”, siendo PAM “Photographs And Masks”, debido a que en este fichero será el contenedor de información de las fotografías y máscaras que permitirán la construcción del modelo 3D CAD de la cabeza. El otro fichero lleva por nombre “3DHXXX” siendo 3DH “3D head”. En esta carpeta van todos los archivos 3D de la cabeza. Para ambos ficheros XXX corresponde al sujeto número XXX.

Para el caso de las orejas, se hace una diferenciación de cada una de ellas. Por esto, tanto para el nodo padre de fotogrametría como para el nodo padre del scanner, se agregan dos nodos hijos

que llevan por nombre “REXXX” siendo RE “Right Ear” del participante XXX y “LEXXX” siendo LE “Left Ear” del participante XXX.

4.2.7 Nivel seis, nodos hojas y contenedores de información

El nivel seis de la estructura lógica presenta los primeros nodos hojas. Esto quiere decir que son nodos que no tienen nodos hijos. Pero esto solo es válido para una parte de la estructura, la cual corresponde a la cabeza y al método del scanner en las orejas. En este nivel se presentan todos los archivos fotográficos (.jpg), con sus respectivas máscaras (.bim) y los archivos 3D que fueron generados a partir de estos últimos con el software 3DF Zephyr (.zep, .stl) en la construcción de la cabeza. Los nombres de estos últimos hacen referencia al modelo 3D de la cabeza: “3DHXXX”, siendo 3DH “3D Head” y al modelo 3D de la cabeza unida con los modelos 3D de las orejas obtenidas fotogramétricamente: “3DLEXXX”, haciendo referencia al modelo 3D de la oreja izquierda, siendo 3DLE “3D Left Ear” y “3DREXXX”, haciendo referencia al modelo 3D de la oreja derecha, siendo 3DRE “3D Right Ear”. Para todos los archivos se debe reemplazar el XXX por el número correspondiente del participante.

Por otro lado, la parte correspondiente a las orejas construidas fotogramétricamente, presentan nodos que contienen información necesaria para la construcción 3D de las orejas. Estos nodos contenedores de información toman distintos nombres, dependiendo a que oreja se está enfocando la información para la construcción de un modelo 3D. Por ejemplo, para la oreja derecha los nodos toman el nombre de “PAMXXX” y “3DREXXX” siendo “Photographs And Masks” y “3D Right Ear” del sujeto XXX respectivamente. Para el caso de la oreja izquierda los nodos toman los mismos nombres que en la oreja derecha solo que “3DREXXX” cambia por “3DLEXXX” haciendo referencia a “3D Left Hear” del sujeto XXX.

4.2.8 Nivel siete, nodo hojas

El nivel siete representa a los últimos nodos, los cuales son nodos de hojas. Este nivel es válido solo para la parte fotogramétrica de las orejas. Al igual que los nodos de hojas del nivel seis, aquí se encuentran todos los archivos fotográficos (.jpg), con sus respectivas máscaras (.bim) y los archivos 3D (.zep, .stl) que se generaron a partir de estos datos. Los nombres de estos últimos hacen referencia al modelo 3D de las orejas: “3DLEXXX”, haciendo referencia al modelo 3D de la oreja izquierda, siendo 3DLE “3D Left Ear” y “3DREXXX”, haciendo referencia al modelo 3D de la oreja derecha, siendo 3DRE “3D Right Ear”. Para todos los archivos se debe reemplazar el XXX por el número correspondiente del participante.

4.2.9 Metadata

Una vez poblada la base de datos se debe realizar una metadata, de tal forma que sea capaz de describir todos los datos de la base de datos de manera ordenada para los usuarios [13]. Esto se hace a través de una interfaz de consola que proporciona el sistema operativo Windows. Para ello se hace uso de la interfaz “*powershell*”.

Como Powershell es una interfaz de consola, esta funciona a partir de comandos. El comando más útil para lo que se busca es el comando “tree”. Este comando muestra de forma gráfica y estructurada las carpetas de una ruta específica. Haciendo uso del comando “tree” se puede obtener la forma estructurada de todos los archivos de la base de datos.

Para poder realizar la metadata con la información proporcionada por el comando “tree”, se debe exportar la información a un archivo xml. Esto se hace por medio de otro comando. El comando que permite la extracción de la información a un archivo xml es el comando “Export-Clixml”

Para hacer uso de estos comando solo se debe escribir lo siguiente en la interfaz powershell “tree [escribir ruta de ubicación de base de datos] /f | Export-Clixml “[escribir misma ruta anterior]\PUCV-iHRTF.xml””. Finalmente se ejecuta el programa en la interfaz Powershell y automáticamente se crear el archivo xml con la metadata que se busca.

La creación de la metadata se hace una vez que está poblada la base de datos. En el siguiente capítulo se presentara la adquisición de los datos que permiten poblar la base de datos PUCV-iHRTF de manera satisfactoria.

4.3 Trabajos futuros, almacenamiento de HRTFs

Se ha dicho reiteradamente que esta base de datos se utilizará en trabajos futuros para la obtención de HRTF personalizadas. Para almacenar esta información basta con agregar un fichero en el nivel tres de la estructura lógica que lleve por nombre “HRTFXXX”, siendo HRTF “*Head Related Transfer Function*” la función de transferencia del participante XXX.

Las HRTFs de los participantes deben ser almacenadas en formato SOFA (*Spatially Oriented Format for Acustics*). SOFA es un formato de archivo que permite leer, almacenar y describir datos acústicos espacialmente orientados definido por la AES (*Audio Engineering Society*) [14]. Los archivos SOFA pueden ser leídos y modificados por un interfaz de programación de aplicaciones (API, *Application Programming Interface*), el cual es un conjunto de subrutinas, funciones y procedimientos que ofrece el manejo de una biblioteca de comandos para ser utilizado por otro software como MATLAB o C++.

Además del SOFA, las HRTFs se han almacenado utilizando otros formatos. Por ejemplo, la base de datos CIPIC [15] proporciona un archivo por oyente en formato MATLAB, donde las direcciones están codificadas de forma rígida, es decir, la HRTF corresponde a una única dirección predefinida. Otra base de datos como lo es ARI [16], consiste en una matriz HRTF y matrices adicionales que describen la dirección de la HRTF correspondiente, permitiendo así representar las HRTFs desde cualquier dirección, que al igual que en el caso anterior se almacenan en formato MATLAB, en archivos separados, uno por cada dirección de HRTF. Sin embargo, estas bases de datos fueron creadas antes del año 2015, año en que la AES determino a SOFA como formato de almacenamiento para HRTFs.

Es recomendable asignar un dato por cada HRTF. De esta forma la base de datos será más accesible al usuario si desea trabajar con una HRTF específica de un sujeto específico. Las HRTF

dependen de la posición de la fuente respecto al oyente, por lo que están determinadas según los ángulos de elevación y de azimut de estas, los cuales fueron nombrados en el primer capítulo de este trabajo. Como estos ángulos sirven para indicar la ubicación de la fuente, también servirán para ordenar los datos de las HRTFs según la dirección en la que se encuentre la fuente respecto a la cabeza. Los datos pueden recibir el siguiente nombre “YEEeAAAaXXX”, donde Y puede ser “L” si corresponde a la HRTF del oído izquierdo o “R” si corresponde a la del derecho. Por otro lado, EEE corresponde al ángulo de elevación de la fuente, que puede ir de -90 a +90, AAA corresponde al ángulo de azimut de la fuente, el cual puede variar entre 000 a 359 y XXX que corresponde al número del participante. Por ejemplo, si uno de estos datos toma el nombre “R-30e090a020”, quiere decir que corresponde a la HRTF del oído derecho del participante 020, con una fuente colocada 30° bajo el plano horizontal y 90° a la derecha de la cabeza. De esta forma se garantiza que ningún dato llevará el mismo nombre que otro, haciendo más fácil el acceso de los datos al usuario.

4.4 Conclusiones del capítulo

La base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas diseñada en este trabajo lleva por nombre “PUCV-iHRTF”, es una base de datos jerárquica que cuenta con una estructura lógica de siete niveles, partiendo en el nivel uno con un nodo raíz, el cual es el contenedor de toda la información y terminando en el último nivel con los nodos hojas, los cuales contienen todos los datos de modelos 3D CAD y necesarios para su construcción.

Los archivos XML servirán para ingresar información personal de los participantes de este proyecto, así como también ordenar la estructura de la base de datos PUCV-iHRTF. Esto permite describir la base de datos de manera más estructurada y de fácil comprensión para los usuarios.

La información contenida en la base de datos PUCV-iHRTF corresponde a datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas personalizadas que serán utilizadas en trabajos próximos para la obtención de HRTFs individualizadas. Estas HRTFs se pretenden almacenar en la base de datos PUCV-iHRTF para ello, solo hay que agregar un fichero en el nivel tres.

Las HRTF deberán ser almacenadas en formato SOFA y se debe asignar un archivo por cada HRTF obtenida en cada participante.

5 Adquisición de datos

Una vez definida la base de datos, lo siguiente es comenzar a poblarla. Cabe destacar que la base de datos PUCV-iHRTF fue poblada con veinte participantes a los que se les generó su modelo 3D CAD de cabeza y oreja utilizando la fotogrametría. A continuación se presentan los protocolos y procedimientos por los que pasaron todos los participantes para poder lograr la obtención de sus modelo 3D CAD tanto de la cabeza como de sus orejas para poder ser ingresados a esta base de datos.

5.1 Consentimiento informado

En este proyecto se trabajó con personas y por ningún motivo se quiso dañar la integridad de ellas. Por lo que los participantes deben firmar este consentimiento informado, en el que autorizan a ser sometidos a una sesión fotográfica y a la aplicación de alginato dentro de sus oídos.

Previo a que los participantes firmen la autorización, deben pasar por un proceso de selección, el cual consiste en que un especialista en otorrinolaringología revise sus oídos con un otoscopio. De esta manera se descarta alguna infección o perforación en los tímpanos. Ya que alguna de estas situaciones podría generar alguna una reacción no deseada si el alginato llega a entrar en contacto con el tímpano u oído medio.

Cabe destacar que el consentimiento informado solo fue firmado por aquellas personas que pasaron este proceso de selección, debido a que hubo personas que al ser revisadas por el especialista, se les detectó tapones de cerumen, inflamación del tímpano e incluso perforaciones en el tímpano, lo que llevo a la decisión, en conjunto con el especialista, a que estas personas no participaran de este proyecto, para evitar cualquier daño colateral en caso de que el alginato entrara en contacto con el oído medio y los distintos componentes anatómicos que lo conforman.

Este consentimiento informado corresponde a dos documentos, uno correspondiente a la autorización de los participantes para tomar fotografías de sus cabezas y el otro a la autorización para poder aplicar alginato a sus oídos. Ambos consentimientos se encuentran en el apéndice A, en las páginas finales de esta tesis.

El profesional en otorrinolaringología que ayudó al proceso de selección fue una tecnóloga médica especialista en el área. En la figura 5-1 se muestra a la tecnóloga en el proceso de revisión del canal auditivo de un participante.



Figura 5-1 Revisión de canal auditivo para descartar participantes en caso de algún problema existente en los sus oídos.

5.2 Sesión de alginato

La pinna o el oído externo morfológicamente difiere entre cada persona como también entre pinna izquierda y derecha, ya que como se ha dicho previamente, las orejas presentan concavidades y convexidades que muchas veces impiden que la luz llegue a ciertos lugares, haciendo muy difícil poder aplicar un método fotogramétrico directamente en las orejas de las personas.

Estas diferencias hacen que sea necesario generar réplicas individualizadas de las orejas de cada persona. Si bien no se puede aplicar un método fotogramétrico directamente a las orejas, si se puede hacer en una réplica. Esto debido a que muchas veces la cabeza genera sombras sobre las orejas dificultando el método fotogramétrico o incluso el pelo puede ser un inconveniente, algo que no sucede utilizando replicas, ya que estas se pueden manipular con mayor facilidad colocándolas en una superficie giratoria, de tal forma que la cámara pueda captar luz en zonas en donde no es posible cuando las orejas están en su lugar.

Para generar réplicas de orejas, primero se necesita obtener un molde de las orejas el que actuará como negativo. Este molde se crea con alginato, material de secado rápido ampliamente utilizado en el campo odontológico.

El alginato se debe combinar con agua de tal forma que se forme una solución con una consistencia densa. Para esto se debe agregar 30 gramos de alginato y 400 milímetros de agua. Estas medidas se traducen en tres cucharadas de alginato y cuatro vasos de agua, cucharas y vasos que se usan específicamente para el uso del alginato y se muestran en la figura 5-2.



Figura 5-2 Cuchara y vaso para preparación de alginato

Una vez que se forma la solución, se debe introducir el alginato a la oreja del participante, para ello se debe hacer uso de cubetas, para que el alginato encierre la totalidad de la oreja. Esto se puede apreciar en la figura 5-3. Todo esto no se debe hacer sin antes colocar un algodón que tape la entrada del conducto auricular, evitando el ingreso de alginato al oído medio.



Figura 5-3 Vaciado de alginato en oreja de participante [4].

A pesar de que las personas que son sometidas a la sesión de alginato no tienen algún problema en sus oídos, se les coloca el tapón de algodón con el fin de prevenir alguna infección que se pueda producir si es que el alginato queda atrapado dentro del oído.

Una vez vaciado el alginato en la oreja de la persona, solo queda esperar a que se seque para poder retirarlo, el alginato es un material de solidificación rápida, así que después de unos cinco minutos este ya se encuentra en un estado sólido, listo para ser retirado.

Al retirar el alginato se obtiene el negativo de la oreja como se muestra en la figura 5-4. Este negativo está listo para poder ser utilizado en la creación de la réplica de la oreja.



Figura 5-4 Negativos de las orejas creados con alginato [4].

Para la obtención de la réplica solo basta con hacer un vaciado de yeso en los negativos de alginato, el yeso al igual que el alginato es una solución la cual tiene que ser de unos 20 gramos de yeso con unos 400 ml de agua.

Una vez vaciado el yeso en el alginato al cabo de una hora el yeso ya se encontrara duro y listo para retirar el alginato de su superficie, obteniéndose así la réplica exacta de la oreja como se muestra en la figura 5-5.



Figura 5-5 Replica de yeso de la oreja.

De esta forma la réplica de oreja ya está lista para poder someterla a un proceso fotogramétrico para la creación de su modelo 3D CAD.

5.3 Sesión fotográfica

La sesión fotográfica es el protocolo a seguir más importante en este proyecto, ya que a través de esta sesión se obtendrán las fotografías que harán posible la construcción de los modelos 3D CAD de cabezas y orejas

La sesión de fotos se realiza en un estudio de fotográfico, el cual contiene los siguientes instrumentos que hacen posible obtener fotografías de la calidad suficiente para poder generar la cabeza 3D.

- Una superficie giratoria, donde se localiza el objetivo
- Dos sombrillas plateadas reflectantes
- Dos flashes
- Una cámara
- Un trípode

La función de los flashes con sus respectivas sombrillas reflectantes es evitar que se produzcan sombras en las sesiones, por lo que su posición no es fija. Estas sombras se pueden generar en las caras de las personas o bajo el mentón, por lo que se deben acomodar los flashes hasta eliminarlas, debido a que pueden afectar al modelo 3D CAD. La mayoría de las veces los flashes se posicionan a los lados de la cámara, a 45° a la derecha del objetivo y 45° a la izquierda de este mismo, como se muestra en la figura 5-6, que describe la distribución del estudio fotográfico.

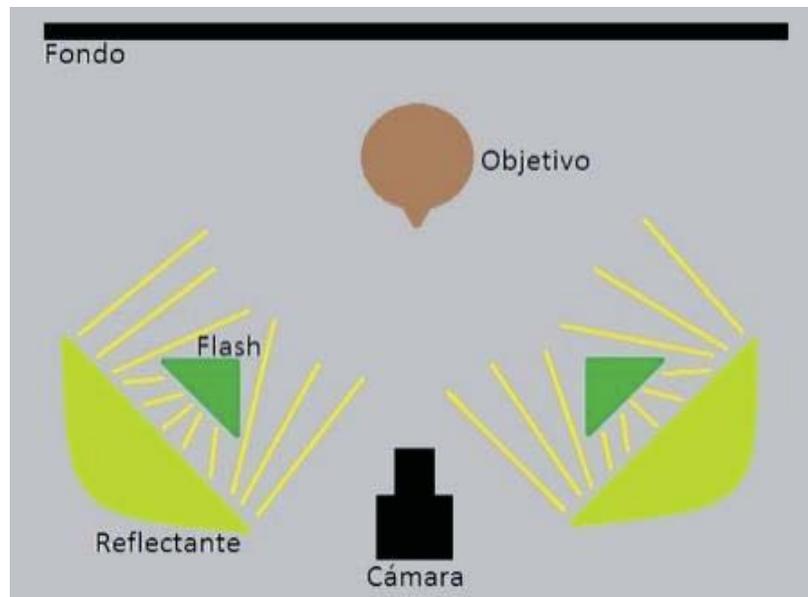


Figura 5-6 Esquema representativo del estudio fotográfico [4].

La sesión fotográfica es aplicada tanto para las cabezas de las personas como en las réplicas de las orejas, para la obtención del modelo 3D CAD utilizando la técnica fotogramétrica. La sesión fotográfica aplicada tanto a las cabezas como a las orejas no es la misma, por lo que hay que hacer cierta distinción entre ellas.

5.3.1 Sesión fotográfica aplicada a las cabezas

Como se posee solo una cámara, es posible construir un modelo 3D de un sujeto manteniendo la cámara en una posición fija y poner al sujeto en una superficie giratoria [14]. Por esto se hace uso de un trípode, que mantiene la cámara en una posición fija, y una silla giratoria, la cual permitirá captura a la cabeza de las personas en distintos ángulos.

Para comenzar la sesión fotográfica para el modelo 3D CAD de la cabeza, se debe sentar a la persona en la silla giratoria, debe mirar hacia al frente con los ojos cerrados y mantener esa posición durante toda la sesión. La persona debe girar en esta silla cada vez que se haga una captura fotográfica.

Como las fotografías que se obtendrán en esta sesión fotográfica serán utilizadas en la construcción del modelo 3D CAD de la cabeza, es necesario tener ciertos aspectos en cuenta, para obtener un modelo 3D CAD en óptimas condiciones. Uno de estos aspectos a considerar es que los participantes de este proyecto siempre deben someterse a la sesión fotográfica con un gorro de natación puesto en sus cabezas. De esta manera se conseguirá que el modelo 3D CAD mantenga la forma del cráneo de la persona y no de la forma del pelo que este tenga.

Otro aspecto a considerar es que en las sesiones fotográficas no debe existir ningún tipo de simetría. Esto porque el software puede hacer un traslape en un punto donde no corresponde. Por ejemplo la figura 5-7 muestra la nube de puntos escasa de un modelo 3D CAD que resultó ser

un mal modelo, debido a que existía una simetría en el gorro de natación, esta simetría se encontraba en el logo del gorro, presente tanto al lado derecho como al izquierdo, haciendo que el software el logo tanto la parte derecha como la izquierda del sujeto a prueba.



Figura 5-7 Error en modelo 3D CAD causado por simetría.

El traslape es muy importante en el modelamiento 3D CAD por lo que otro aspecto a considerar en la sesión fotográfica es que se saque una gran cantidad de fotografías, ya que entre más fotografías se tomen, mayor traslape habrá. Si esto no se cumple, podrían existir problemas en el modelo 3D CAD de la cabeza como se muestra en la figura 5-8, donde la cantidad de fotografías tomadas en la sesión fotográfica, no fueron suficiente y el modelo 3D CAD quedó imperfecto. En la imagen se puede apreciar que falta una parte de la nariz en el modelo 3D CAD de la cabeza.



Figura 5-8 Error de modelo 3D por falta de traslape en la nariz.

Para que esto no suceda se tienen que tomar al menos 120 fotografías por sesión fotográfica, posicionando la cámara en cuatro estaciones distintas. Estas cuatro posiciones van variando en altura y están determinadas por el trípode que se esté utilizando.

Debido a que no todas las personas miden lo mismo, no se pueden dar medidas exactas de como posicionar la cámara, por lo que es mejor utilizar ángulos para su mejor comprensión. La primera posición que debe tomar la cámara tiene una inclinación de -10° respecto al objetivo. En la segunda posición, la cámara debe estar frente al objetivo con una inclinación de 0° . En la tercera y cuarta posición la cámara se inclina con un ángulo de 30° y 45° respectivamente respecto al objetivo, que en esta sesión es la cabeza. Esto se puede entender mejor observando el esquema de la figura 5-9, el cual muestra las posiciones que debe tomar la cámara con sus respectivos ángulos de inclinación.

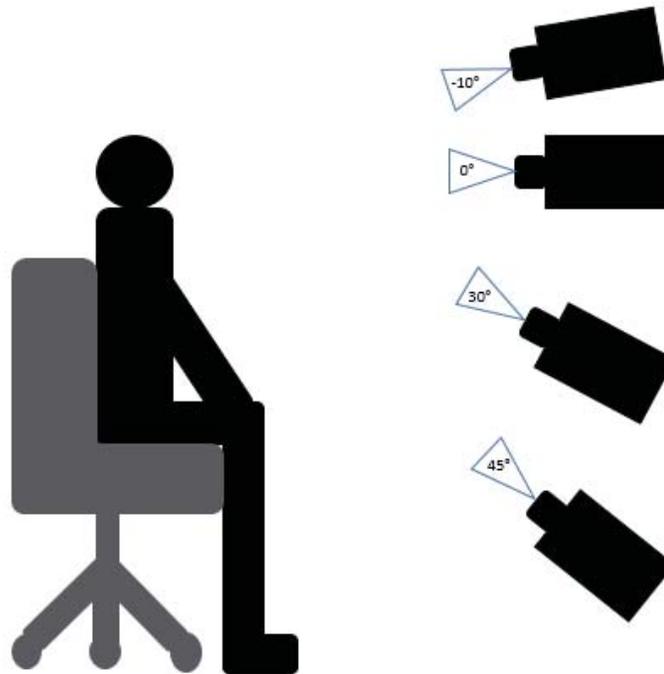


Figura 5-9 Posicionamiento de cámaras en sesión fotográfica de las cabezas

Cada vez que se saque una fotografía a la cabeza de una persona, esta debe girar un par de grados en la superficie para que vuelva a ser fotografiada. Teniendo en cuenta que hay que tomar al menos ciento veinte fotografías en toda la sesión, entonces se deben tomar al menos treinta fotografías por cada posición de la cámara. Esto implica que la persona debe girar a lo más 12° entre cada fotografía. De esta manera se garantiza que haya una gran cantidad de traslape, que resulta en un buen modelo 3D CAD.

5.3.2 Sesión fotográfica aplicada en las orejas

La sesión fotográfica aplicada a las réplicas de las orejas no difiere mucho de la sesión que se aplica a las cabezas. La diferencia aquí radica en la superficie giratoria, posición de la cámara y cantidad de fotografías.

La superficie giratoria que se utiliza en la sesión fotográfica, es una estructura cilíndrica que se pone sobre un trípode, esta superficie se va girando manualmente a medida que se van sacando las fotos. A diferencia de la superficie giratoria de la sesión fotográfica de la cabeza, esta superficie va tomando tres posiciones distintas que varían en altura, partiendo en 110 cm, luego 130 cm y finalmente a 150 cm sobre el piso.

La posición de la cámara se mantiene fija a diferencia de la sesión fotográfica de la cabeza, donde la cámara toma cuatro posiciones distintas. La cámara se va inclinando dependiendo de la posición que tome el objetivo, que en esta sesión son las réplicas de las orejas. Cuando la superficie giratoria se ubica en la posición más baja, la cámara debe tener una inclinación de -20° respecto al objetivo. En la segunda posición la cámara esta frente a las réplicas de yeso, con una inclinación de 0° y finalmente cuando la superficie giratoria se ubica en la posición más elevada, la cámara debe tener una inclinación de 10° . Esto se puede comprender de mejor forma si se observa la figura 5-10, donde se muestra un esquema con lo anteriormente mencionado.

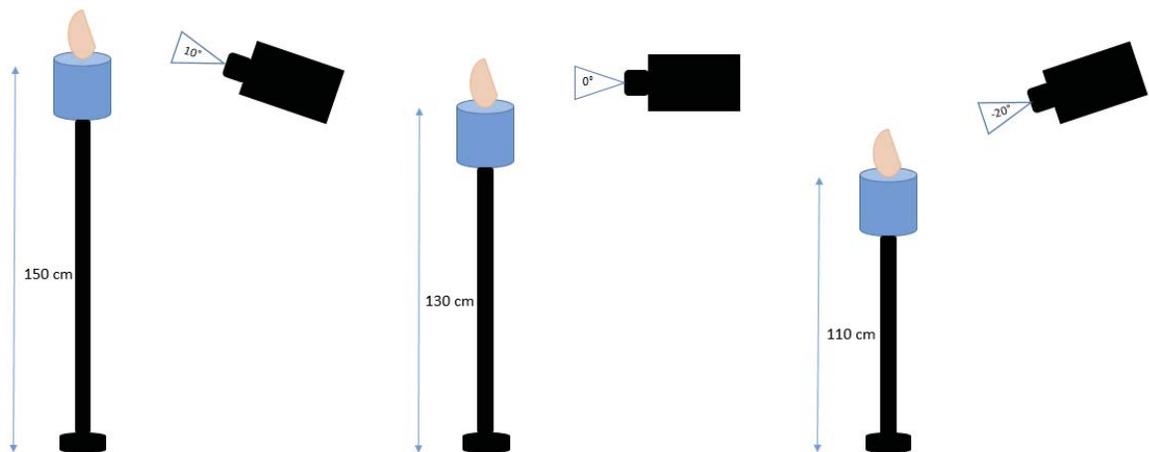


Figura 5-10 Inclinación de cámara en sesión fotográfica de orejas

Por último, la cantidad de fotografías es menor en comparación con la sesión fotográfica de la cabeza. La sesión fotográfica de las orejas, requieren de al menos noventa fotografías, treinta fotografías por posición de la superficie giratoria. De esta forma se pueden obtener modelos 3D CAD de las orejas de calidad.

5.4 Procesamiento de imágenes fotográficas

Este procedimiento es el último que hay que seguir para obtener los modelos 3D CAD de cabezas y orejas que serán ingresados a la base de datos.

En el capítulo cuatro, se nombraron los tres procesos que hay que seguir para la obtención de estos modelos 3D CAD con el software 3DF Zephyr, los cuales eran *Structure from motion*, *Multi-view Stereo* y *Mesh Extraction*. Pero existe otro proceso que es muy importante y que no fue nombrado en el capítulo tres. Este proceso es el enmascaramiento, el cual permite que el software procese solo lo que le interesa al usuario modelar en 3D.

En la figura 5-11 se muestra proceso de enmascaramiento de una cabeza. En este proceso se selecciona lo deseado por el usuario en color rojo y lo que no en azul. Se debe enmascarar solo la cabeza y evitar que queden figuras u objetos ajenos a esta, lo mismo para las orejas.

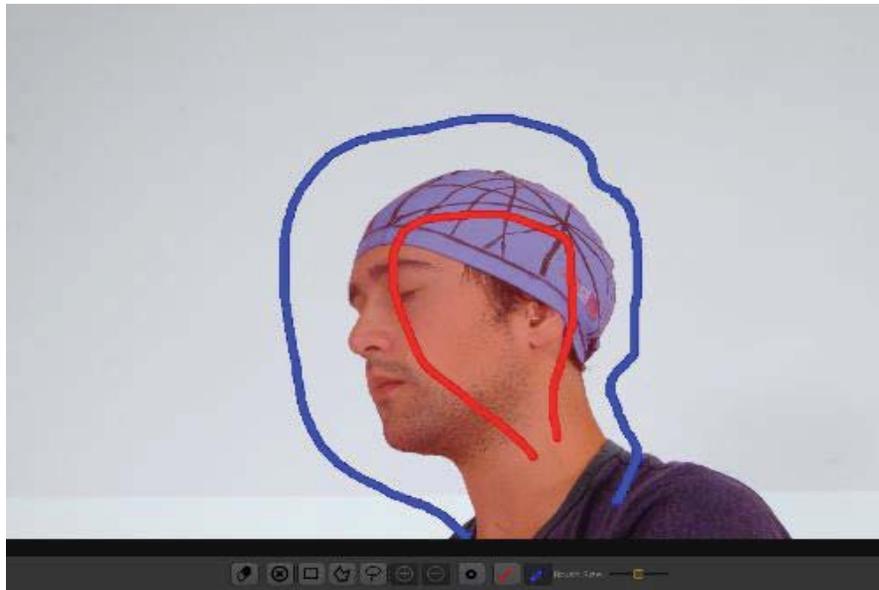


Figura 5-11 Proceso de enmascaramiento.

Cabe destacar que cada vez que se termina un proceso de enmascaramiento, se crea una máscara que lleva el mismo nombre de la fotografía que fue enmascarada. Esta máscara es un archivo en formato “.bim” y al igual que las fotografías son ingresadas a la base de datos en el mismo fichero o carpeta, debido a que las máscaras no pueden ser separadas de las fotografías a las cuales corresponden.

Todas las fotografías que serán procesadas por el software deben pasar por el proceso de enmascaramiento, del caso contrario el software podría agregar al modelo 3D otros cuerpos no deseados, tal caso se muestra en la figura 5-12, donde el software procesa el fondo verde de la sesión fotográfica. Lo que claramente arroja un modelo 3D CAD deforme, y no apto para lo que se está buscando obtener en este trabajo.

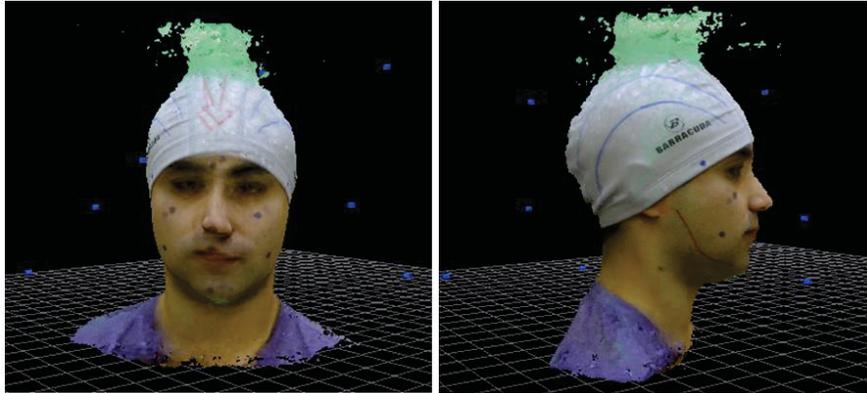


Figura 5-12 Modelo 3D CAD procesado sin el proceso de enmascaramiento.

Teniendo esto claro y con todas las fotografías enmascaradas, solo hay que comenzar a procesar las imágenes, cada proceso tiene una configuración apropiada, pero desde la versión 2.7 del software Zephyr se creó una configuración estándar llamada “*human body*” la cual es perfecta para el trabajo de esta tesis. Esto quiere decir que todos los procesos por los que se debe pasar para la construcción de un modelo 3D CAD se realizarán con la configuración “*human body*”, lo cual es válido tanto para la construcción de los modelos 3D CAD de las cabezas como de las orejas de los participantes de este proyecto.

El primer proceso, *Structure from Motion*, posiciona las cámaras o fotografías desde todos los ángulos de incidencia. También se crea una nube de puntos escasa, la cual le irá dando forma al modelo 3D CAD. La figura 5-13 muestra el posicionamiento de las cámaras y la nube de puntos escasa de un modelo 3D CAD de una cabeza. Cabe destacar que entre más puntos o nodos tenga esta nube de puntos, mayor será la calidad del modelo 3D CAD final.

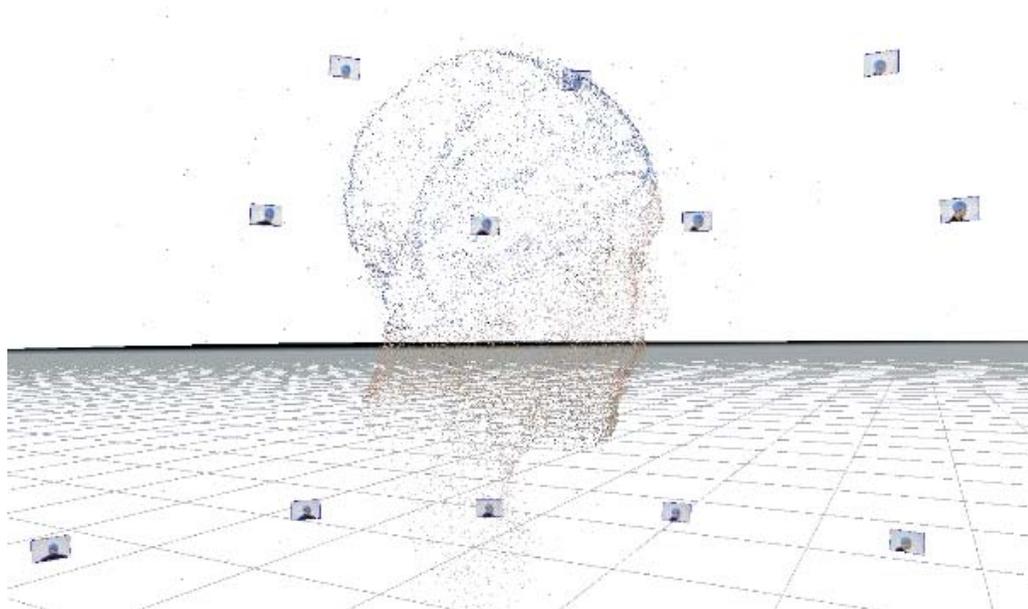


Figura 5-13 Nube de puntos escasa de una cabeza creada en 3DF Zephyr.

El segundo proceso, *Multi-View Stereo*, genera una segunda nube de puntos, pero esta vez más densa, donde ya se puede reconocer la estructura que tendrá el modelo 3D CAD, como la que muestra la figura 5-14.

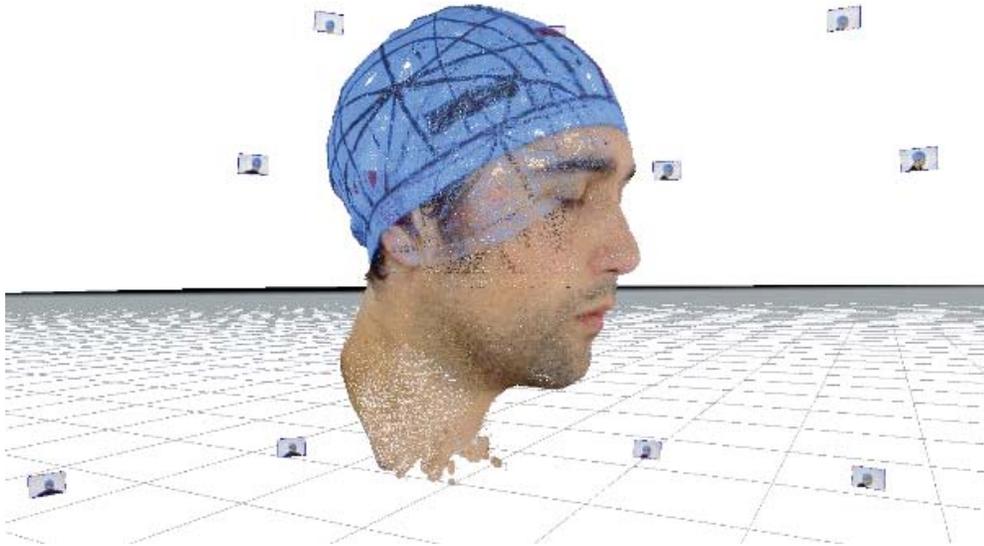


Figura 5-14 Nube de puntos densa de una cabeza creada en 3DF Zephyr.

El tercer y último proceso, *Mesh Extraction*, es el encargado de generar una malla, esto se hace uniendo todos los puntos de la nube de puntos densa, se unen por medio de polígonos triangulares. La figura 6-14 muestra la malla generada en la misma cabeza de las figuras 5-14 y 5-14.

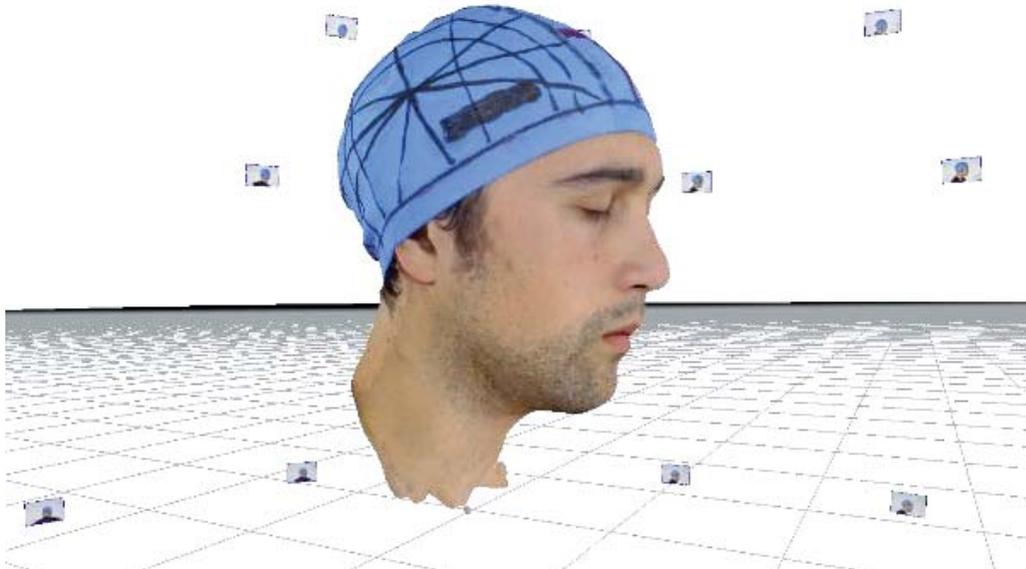


Figura 5-15 Malla generada de una cabeza

De esta forma se generan los modelos 3D CAD tanto para orejas como cabezas, los datos de los modelos 3D CAD quedan en formato “.zep”, formatos que solo pueden ser trabajados por 3DF Zephyr. Pero 3DF Zephyr tiene la capacidad de poder exportar los modelos 3D CAD en otros formatos para que puedan ser trabajados en otros softwares. En la figura 5-16 se muestra el listado de formatos en que 3DF Zephyr permite exportar sus mallas para el uso de modelos 3D CAD en otras plataformas.

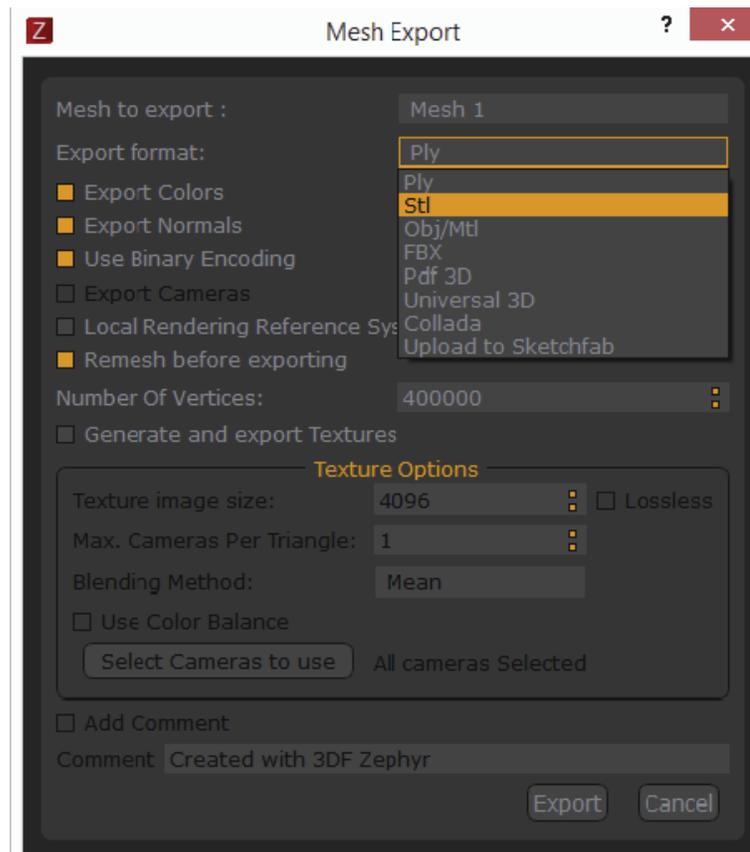


Figura 5-16 Formatos de exportación disponibles en 3DF Zephyr.

Es importante a mencionar que es la malla la que se debe exportar, ya que es esta malla con la que se trabaja en la obtención de HRTF.

De todos los formatos disponibles en la que se muestran en la figura 6-13, se escogió el formato STL para la exportación de las mallas. Esto debido a que este formato es compatible con la mayoría de software que trabajan con modelos 3D CAD.

De esta forma se obtienen los datos 3D CAD de las cabezas y orejas, los que quedan almacenados en la base de datos tanto en formato “.zep” como “.stl”.

5.5 Unión de modelos 3D CAD

Una vez creados los modelos 3D CAD tanto de orejas como de cabezas, estos deben ser unidos, ya que es esta unión la que se utilizara para la obtención de HRTF. Para crear esta unión se debe hacer uso de una herramienta del software 3DF Zephyr, esta herramienta se llama puntos de control. Los puntos de control son puntos de referencia que son colocados en los modelos 3D CAD.

Para agregar un punto de control se puede hacer directamente en el modelo 3DCAD o posicionándolo en las fotografías con las que se construyó el modelo. Si se hace en las fotografías se debe realizar en al menos dos de ellas, ya que como en la fotogrametría se necesitan de al menos dos imágenes para obtener información tridimensional, solo así el software lo puede posicionar.

Agregar puntos de control en las fotografías es mucho más preciso que agregar un punto de control directamente en el modelo 3D CAD, ya que si se selecciona un punto de control en un fotografía, automáticamente el software seleccionara las imágenes que presentan ese mismo punto, dando una referencia de su ubicación.

En la figura 5-17 se muestran los puntos de control agregados en las fotografías, y en la figura 5-18 se muestra la referencia de la ubicación del mismo punto en otra imagen que es recomendada por el software.



Figura 5-17 Punto de control agregado en una fotografía.



Figura 5-18 Referencia del punto de control dado por el software.

Lo que se debe hacer para unir el modelo 3D CAD de la cabeza con el de las orejas es colocar un punto de control tanto en el modelo 3D CAD cabeza como en el de las orejas. Luego se deben importar las orejas en el mismo punto de control en común con la cabeza, de esta forma cuando las orejas y las cabezas compartan un mismo archivo estarán unidos como se muestra en la figura 5-19.



Figura 5-19 Unión de mallas de orejas y cabeza

Una vez unida la cabeza y las orejas, se debe exportar la unión en un archivo “.stl” de tal forma que pueda ser utilizado por cualquier otro software que tenga procesamiento de modelos 3D CAD.

Pero existe un pequeño problema en esta unión de cabezas y orejas, el cual consiste en que tanto las mallas de las orejas como la cabeza no están unificadas, solo están una sobre otra. Para solucionar este problema se hace uso otro software que permita la unificar las mallas. Este software puede ser cualquier software que permita manipular objetos 3D.

Para la unificación de las mallas se optó por el software Blender [15], el cual tiene una herramienta llama “*join*”. Esta herramienta permite unir dos mallas distintas. Como antes de exportar las mallas en formato stl se unieron con los puntos de control, solo hay que abrir el archivo stl con el software Blender y seleccionar las mallas en la posición que se encuentran y aplicar la herramienta *join*.

Una vez realizado todo esto solo se debe guardar el archivo stl en la base de datos junto con todos los demás archivos que permitieron la construcción de modelos 3D CAD de las cabezas y orejas.

5.6 Conclusiones del capítulo

Es importante garantizar un buen traslape entre fotografías, por lo que se debe cumplir con la cantidad de imágenes mínimas exigidas en cada sesión fotográfica, 120 fotografías para la sesión de la cabeza y 90 para la de las orejas. Si no se cumple esto, existe la posibilidad de que 3DF Zephyr arroje modelos 3D CAD imperfectos, como por ejemplo que no tengan parte de la nariz o del mentón en el caso de las cabezas o que las pinnas les falte una parte del lóbulo, haciendo que el trabajo realizado haya sido en vano y no puedan ser ingresados a la base de datos.

Los modelos 3D CAD de las orejas y de la cabeza deben unirse de tal forma de obtener una cabeza con sus respectivas orejas 3D CAD, ya que esta cabeza unificada es la que se someterá a futuros trabajos de obtención de HRTFs personalizadas. 3DF Zephyr permite la unión de modelos 3D CAD, pero no la unificación de sus mallas. Para ello se debe utilizar Blender, software que si permite unir mallas de distintos modelos 3D CAD.

En la base de datos se deben almacenar todos los datos que permiten la creación de un modelo 3D CAD, fotografías, máscaras y mallas creadas en 3DF Zephyr y en Bender. La malla de cabezas y orejas unificadas en Blender es la que utilizara en los trabajos de obtención de HRTFs personalizadas.

Como este trabajo está pensado para que sea utilizado más adelante en otros trabajos en la obtención de HRTFs personalizadas, aún no se sabe que softwares se utilizaran para el cumplimiento de este objetivo. Es por esta razón que las mallas de modelos 3D CAD creadas en este trabajo se almacenan en la base de datos en formato STL. Este formato es el más compatible con plataformas y softwares 3D.

Discusión y conclusiones

En este trabajo se diseñó una base de datos tipo jerárquica, que lleva el nombre “PUCV-iHRTF” y cuenta con una estructura lógica de siete niveles. Esta base de datos está diseñada para el almacenamiento de modelos 3D CAD de cabezas y orejas, junto a todos los datos que permitieron la construcción de estos modelos, como fotografías y máscaras.

La base de datos PUCV-iHRTF, no tan solo cuenta con datos de modelos 3D CAD obtenidos a través de una técnica fotogramétrica, sino que también posee datos de modelos 3D CAD obtenidos por el estudiante que está trabajando paralelamente con un método de escáner. Esto se refleja en el nivel cuatro la estructura lógica, donde se presenta este método de obtención de modelos 3D CAD para las orejas.

Los modelos 3D CAD presentes en la base de datos fueron generados a través del software 3DF Zephyr, el que utiliza la técnica fotogramétrica para la construcción de modelos 3D CAD. Estos modelos se pretenden utilizar para la obtención de HRTFs personalizadas en otros trabajos sucesores a este.

Todos los modelos 3D CAD presentes en este trabajo fueron generados con el software 3DF Zephyr, pero la construcción de un modelo unificado de cabezas con orejas se hizo posible con el software Blender, el cual permitió crear unificar las mallas de las orejas con la de la cabeza, cosa que no puede realizar 3DF Zephyr.

Es necesario cumplir con la cantidad mínima de fotografías en las sesiones fotográficas tanto de las orejas como de las cabezas. De esta forma se garantiza un buen traslape entre las imágenes y obtener modelos 3D CAD de buena calidad, que no presenten defectos.

Cada nivel de la estructura lógica de la base de datos PUCV-iHRTF está representado por una carpeta o fichero que contiene información, los cuales son nombrados por siglas dependiendo de la información que contengan. Por lo que si se quiere agregar nueva información solo se debe crear un nuevo fichero a un nivel de la estructura lógica de la base de datos, el nivel a cual se deba agregar este fichero, dependerá del tipo de información de los datos.

Todos los objetivos propuestos en este trabajo se cumplieron con éxito. Se construyó y se diseñó una base de datos de modelos 3D CAD de cabezas y orejas de veinte personas con un método fotogramétrico, para que los datos almacenados en esta puedan ser utilizados en futuros

proyectos acústicos de obtención de HRTF personalizadas. La base de datos está diseñada para incorporar otros métodos de obtención de modelos 3D CAD aparte del método fotogramétrico y se aplicó un correcto método para la obtención de modelos 3D CAD, tanto para las orejas como para las cabezas.

Discusiones y trabajos futuros

La base de datos PUCV-iHRTF está destinada a ser utilizada en trabajos futuros, puntualmente en el ámbito acústico, para la obtención de funciones de transferencias referidas a la cabeza (HRTF). Por lo que no se descarta utilizar esta base de datos para el almacenamiento de datos en mediciones o simulaciones acústicas. Para esto solo se debe agregar un fichero en el nivel tres de la estructura lógica de la base de datos, en el que se almacenaran todas las respuestas en frecuencia de las ondas que se quieren simular o medir.

El nivel cuatro de la base de datos PUCV-iHRTF, hace referencia a los métodos de obtención de modelos 3D CAD, de tal forma que si a futuro se quiere trabajar con otro método de obtención de modelos 3D CAD, que no sea la fotogrametría, perfectamente pueden ser ingresado este método a la base de datos, agregando un fichero a este nivel. Así como se hizo con el método de scanner en la obtención de modelos 3D CAD de orejas.

Los modelos 3D CAD de esta base de datos serán utilizados en simulaciones acústicas, pero también pueden ser utilizados en la construcción de *dummy head*, de tal forma que se puedan posicionar micrófonos en los conductos auditivos y de esta forma obtener HRTF individualizadas a través de mediciones acústicas. Para la construcción de estas *dummy head* se pueden imprimir con impresoras 3D a escala real.

Bibliografía

- [1] N. Masera, J. Morales y A. Moreno, «Claves Porcentuales Sobre Direccionalidad y Espacialidad del Sonido,» Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, Argentina, 2011.
- [2] B. Seeber y H. Fastl, «Subjetive Selection if Non-Individual Head Related Transfer Funtions,» AG Technische Akustik, MMK, München, Germany, 2003.
- [3] J. fels, «From Children to Adults: How Binaural Cues and Ear Canal Impedances Grow,» RWTH Aachen University, Berlin, 2008.
- [4] R. Codoceo, «Construcción de modelo 3D de oreja y cabeza individualizada para medición acústica,» PUCV, Valparaíso, Chile , 2015.
- [5] J. Bravo, «Construcción de modelo de oreja artificial de silicona y medición de características acústicas,» PUCV, Valparaíso, Chile, 2014.
- [6] P. Cetta, «Localización espacial del sonido,» IUNA, Buenos Aires, Argentina , 2003.
- [7] D. Heeger, «www.gureckislab.org,» [En línea]. Available: <http://gureckislab.org/courses/spring13/robots/SoundLocalization-2.html>. [Último acceso: 05 February 2017].
- [8] E. Torres, F. Orduña y F. Arámbula, «Sistema de foto-antropometría automatizada y su uso en la personalización de funciones de transferencia acústica referidas a la cabeza (HRTF),» UNAM, Ciudad de México, México, 2014.
- [9] «Wikipedia, la enciclopedia libre.,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fotogrametr%C3%ADa>.
- [10] R. Toldo, «PHD Thesis, Towards Automatic Acquisition of High-Level 3D models from Images,» Universidad de Vereno, Verona, Italia , 2013.

-
- [11] E. Suearez, «¿Que es una Base de Datos Relacional?,» Universidad de murcia, Murcia, España, 2008.
- [12] I. Barroncos, «XML para todos,» Universidad de Murcia, Murcia, España, 2003.
- [13] C. Vasquez, «Metadatos: introducción e historia,» Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2007.
- [14] S. A. Engineering, «"AES standard for file exchange - spatial acoustic data file format" AES69-2015,» 2015.
- [15] V. R. Algazi, R. O. Duda, D. M. Thompson y C. Avendano, «"The CIPIC HRTF database," in IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics,» University of California, Davis, 2001.
- [16] P. Majdak, M. J. Goupell y B. Laback, «"3-D localization of virtual sound sources: effects of visual environment, pointing method, and training.,",» de *Atten Percept Psychophys*, 2010, pp. 454-469.
- [17] 3DFlow, «3DFlow 3DF Zephyr, user manual,» 2013.
- [18] Blender, «Blender,» [En línea]. Available: <https://www.blender.org/>. [Último acceso: 05 february 2017].
- [19] 3DFlow, «3DFlow 3DF Zephyr, User Manual,» Verona, Italia , 2013.
- [20] W. Kreuzer, P. Majdak y Z. Chen, «Fast Multipole Boundary Element Method to Calculate Head Related Functions for a Wide Frequency Range,» Acoustics Research Institute,, Viena, Austria , 2009.

A Consentimiento informado



Fecha _____

Yo _____, en base a lo expuesto en el presente documento, acepto voluntariamente participar en la investigación "Método híbrido para la obtención de funciones de transferencia acústicas: moldes para pinna y construcción fotogramétrica 3D de la cabeza y torso (sesión fotográfica)", conducida por el(la) Profesor(a) Sebastián Fingerhuth, investigador(a) de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

He sido informado(a) de los objetivos, alcance y resultados esperados de este estudio y de las características de mi participación. Reconozco que la información que provea en el curso de esta investigación es estrictamente confidencial y anónima. Además, esta no será usada para ningún otro propósito fuera de los de este estudio.

He sido informado(a) de que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento y que puedo retirarme del mismo cuando así lo decida, sin tener que dar explicaciones ni sufrir consecuencia alguna por tal decisión.

De tener preguntas sobre mi participación en este estudio, puedo contactar al Dr. Joel Saavedra A., Vicerrector de Investigación y Estudios Avanzados de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (vrlea@ucv.cl; 032.2273228)

Entiendo que una copia de este documento de consentimiento me será entregada, y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando éste haya concluido. Para esto, puedo contactar al Investigador Responsable del proyecto al correo electrónico sebastian.fingerhuth@pucv.cl, o al teléfono +569322273686.

|

Nombre y firma del participante	Sebastián Fingerhuth Investigador Responsable
---------------------------------	--

Figura A-1 consentimiento informado, sesión fotográfica.



Fecha _____

Yo _____, en base a lo expuesto en el presente documento, acepto voluntariamente participar en la investigación "*Método híbrido para la obtención de funciones de transferencia acústicas: moldes para pinna y reconstrucción fotogramétrica 3D de la cabeza y torso (sesión alginato)*", conducida por el(la) Profesor(a) Sebastián Fingerhuth, investigador(a) de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

He sido informado(a) de los objetivos, alcance y resultados esperados de este estudio y de las características de mi participación. Reconozco que la información que provea en el curso de esta investigación es estrictamente confidencial y anónima. Además, esta no será usada para ningún otro propósito fuera de los de este estudio.

He sido informado(a) de que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento y que puedo retirarme del mismo cuando así lo decida, sin tener que dar explicaciones ni sufrir consecuencia alguna por tal decisión.

De tener preguntas sobre mi participación en este estudio, puedo contactar al Dr. Joel Saavedra A., Vicerrector de Investigación y Estudios Avanzados de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (vriea@ucv.cl; 032.2273228)

Entiendo que una copia de este documento de consentimiento me será entregada, y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando éste haya concluido. Para esto, puedo contactar al Investigador Responsable del proyecto al correo electrónico sebastian.fingerhuth@pucv.cl, o al teléfono +569322273686.

|

Nombre y firma del participante	Sebastián Fingerhuth Investigador Responsable
---------------------------------	--

Figura A-2 consentimiento informado, sesión alginato.