

IMPLANTES ÓSEOS DEL TECHO ACETABULAR EN FRACTURAS DE CADERA A PARTIR DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS

BONE IMPLANTS OF THE ACETABULAR ROOF IN HIP FRACTURES FROM OF TOMOGRAPHIC IMAGES

Ing. Ever Mauricio Durán Vargas ^{1*§}

Recibido: Agosto 12, 2023; Aceptado: Noviembre 23, 2023

RESUMEN

Mediante un análisis de los métodos actuales del tratamiento para las fracturas del techo acetabular que existe en Bolivia, se pudo evidenciar que los resultados que se obtienen no son 100% efectivos. Con estos problemas los pacientes tienen que ser sometidos a varias operaciones con la intención de poder solucionar este problema, que al fin y al cabo no termina de ser solucionado. En una entrevista con los Dres. especialistas Henry Flores y Pablo Justiniano, se comentó que en Argentina hacen prótesis personalizadas para cada paciente, pero que este trabajo lo realizan de manera manual y tarda aproximadamente 3 a 4 semanas en entregar la pieza final.

El proyecto de investigación pretende utilizar técnicas de procesamiento digital de imágenes para el tratamiento de las imágenes tomográficas y así lograr en primer lugar la reconstrucción 3D del hueso con todas sus deformidades y en segundo lugar se pretende lograr la reconstrucción de la prótesis personalizada del paciente para que así tenga una solución correcta a las fracturas del techo acetabular. Para poder realizar esta reconstrucción se utilizó imágenes tomográficas en 2D con características especiales para que la reconstrucción pueda ser de la mejor calidad posible, se tomaron en cuenta las variables nitidez, contraste, tamaño de la matriz, inclinación del gantry, etc.

El software desarrollado en la investigación propone que el paciente pueda adquirir una prótesis personalizada para el tipo de defecto acetabular del cual sufre. El software permite al médico especialista ya no recurrir a prótesis estandarizadas, improvisaciones o tratar de adaptar prótesis genéricas a personas que necesitan algo más a la medida y así también aumentar la calidad de sus operaciones. Esta aplicación basada en técnicas de procesamiento digital de imágenes se desarrolla en el software matricial “MatLab” ya que este software provee muchas herramientas en específico para el tratamiento de imágenes digitales.

Palabras claves: Programación, Prótesis personalizadas, Tomografía computarizada, Impresión 3D, defectos acetabulares.

ABSTRACT

Through an analysis of the current treatment methods for fractures of the acetabular roof that exist in Bolivia, it was evident that the results obtained are not 100% effective. With these problems, patients have to undergo several operations with the intention of solving this problem, which in the end is not solved. In an interview with Drs. specialists Henry Flores and Pablo Justiniano, it was commented that in Argentina they make personalized prostheses for each patient, but that this work is done manually and it takes approximately 3 to 4 weeks to deliver the final piece.

The research project aims to use digital image processing techniques for the treatment of tomographic images and thus achieve, firstly, the 3D reconstruction of the bone with all its deformities and secondly, it aims to achieve the reconstruction of the patient's personalized prosthesis so that you have a correct solution to fractures of the acetabular roof. In order to carry out this reconstruction, 2D tomographic images with special characteristics were used so that the reconstruction could be of the best possible quality. The variables of sharpness, contrast, matrix size, gantry inclination, etc. were taken into account.

The software developed in the research proposes that the patient can acquire a personalized prosthesis for the type of acetabular defect from which he suffers. The software allows the specialist doctor to no longer resort to standardized prostheses, improvisations or try to adapt generic prostheses to people who need something more tailored and thus also increase the quality of their operations. This application based on digital image processing techniques is developed in the matrix software "MatLab" since this software provides many specific tools for the processing of digital images.

Keywords: Programming, Custom prosthetics, Computed Tomography, 3D printing, acetabular.

Citación: Durán Vargas Ever Mauricio, **SISTEMA DE ELABORACIÓN DE IMPLANTES ÓSEOS DEL TECHO ACETABULAR EN FRACTURAS DE CADERA A PARTIR DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS.** Revista Científica EMINENTE 2024, 8-1: 59-67.

¹ Ingeniero Mecatrónico – Encargado de Laboratorio de Automatización, Control y Mecánica - Unidad Académica Santa Cruz - Escuela Militar de Ingeniería

* Corresponde al Autor (correo electrónico: mauduran21@gmail.com).

⁵ Dirección de contacto Investigador primer autor: Calle Ingavi N° 944 - Telf.: (+591) 75600487 Santa Cruz – Bolivia.

INTRODUCCIÓN

Con la presente investigación se pretendió realizar el diseño de un sistema de elaboración de implantes óseos del techo acetabular en fracturas de cadera a partir de imágenes tomográficas, el cual nos ayude a realizar prótesis de acetábulo personalizados para cada paciente en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.

Se consideró realizar la reconstrucción de las piezas asistido por un software que nos ayude a realizar la prótesis personalizada de forma más exacta y adecuada a la medida que requiera el paciente.

Se estudiaron todos los algoritmos de reconstrucción, los formatos, filtros y modelos de impresión para poder elaborar la prótesis personalizada.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de elaboración de implantes óseos a base de imágenes tomográficas para implantes de techo acetabular.

METODOLOGÍA

Para la realización del estudio, se utilizó la técnica investigación experimental para poder determinar y diseñar el algoritmo correcto para la elaboración de prótesis personalizadas.

Fase de Obtención de las imágenes tomográficas 2D

La obtención de las imágenes tomográficas 2D se obtuvo gracias a la colaboración de los pacientes y la empresa DM, las cuales nos proporcionaron en formato digital los estudios necesarios y precisos para poder realizar las pruebas necesarias y precisas para el desarrollo de la investigación.

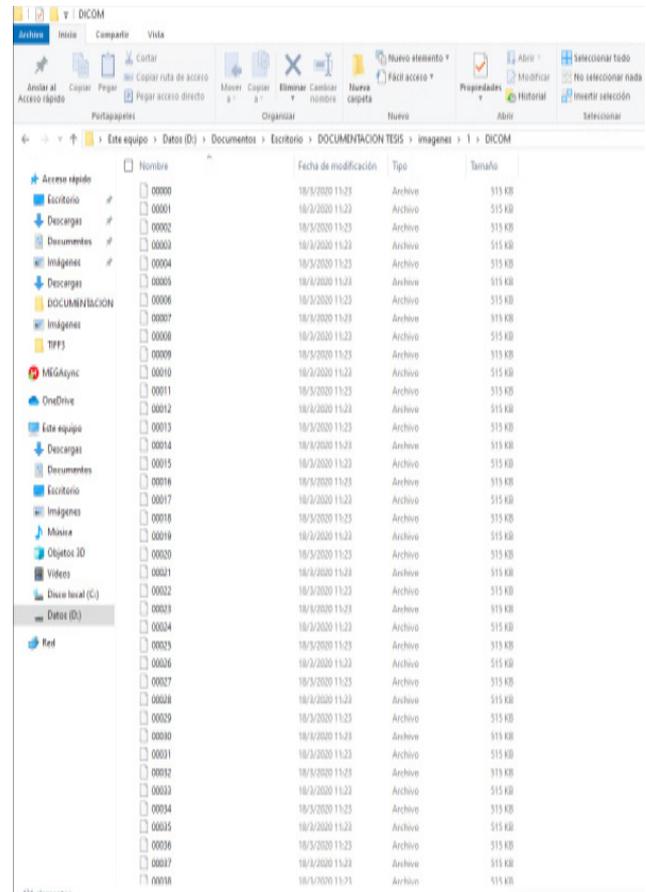
Fotografía 1. Almacenamiento de imágenes tomográficas



Fuente: Elaboración propia

Para el proceso de almacenamiento dentro de la computadora se procedió a insertar el CD en la computadora y almacenar dentro de una carpeta todas las imágenes en formato DICOM.

Fotografía 2. Imágenes tomográficas en formato DICOM



Fuente: Elaboración propia

Fase de conversión de formato

Adecuación del formato y preprocesamiento de las imágenes tomográficas

El primer paso es adecuar el archivo en formato DICOM a un archivo que facilite el procesamiento de la imagen según las herramientas estudiadas para la reconstrucción en 3D. Se eligió trabajar con el formato TIFF debido a que este archivo es el más adecuado para el procesamiento digital de imágenes, porque nos permite conservar las características de información que contiene la imagen DICOM, haciendo que sea más y eficiente el procesamiento de las imágenes.

Para poder realizar esta conversión de formato dentro del script del software esta la parte de conversión que viene dado por la función de conversión del programa Matlab.

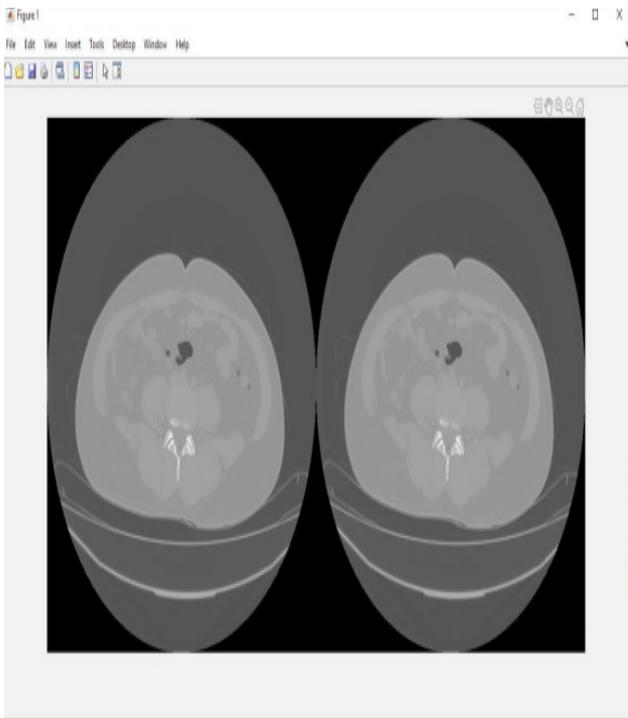
Fotografía 2. Algoritmo de conversión de formato

```
[filename, pathname] = uigetfile('imagen.dcm', 'Abriendo imagen DICOM');%Abrir imagen dicom
if isequal(filename, 0) || isequal(pathname, 0)
    disp('Entrada de imagen cancelada.');
```

Fuente: Elaboración propia

En el preprocesamiento y conversión de formato de las imágenes solo se trata de adecuar los valores que tienen estas imágenes para que así sea más eficiente la conversión de la imagen en blanco y negro.

Fotografía 3. Comparación de imágenes en formato DICOM y TIFF

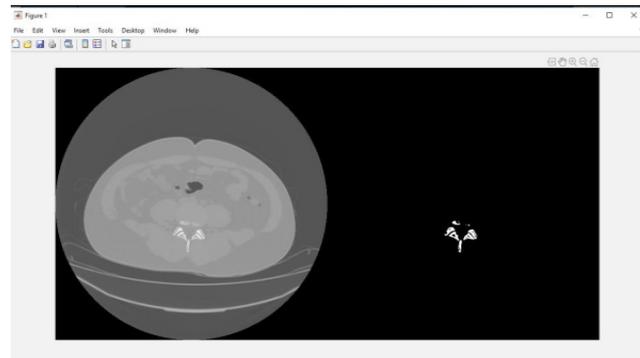


Fuente: Elaboración propia

Fase de procesamiento digital de imágenes

Después de haber convertido la imagen al formato más conveniente para el procesamiento digital de imágenes el siguiente paso es convertir la imagen a binario y así poder identificar de mejor forma las partes óseas y la zona a reconstruir y por último leer la serie de imágenes que vamos a necesitar para la reconstrucción.

Fotografía 4. Conversión de imagen normal en una imagen binaria.



Fuente: Elaboración propia

En la fotografía anterior podemos ver la diferencia entre la imagen normal y la imagen convertida a binario, para poder realizar esta conversión nos ayuda bastante la parte de la conversión de la imagen a 8 bits, así la línea “BW = imbinarize(I, 0.7);” nos ayuda a identificar el umbral máximo que tiene la imagen y partir de ese valor se va adaptando y los valores altos los convierte en 1 y los valores más bajo los convierte en 0 así, será más fácil poder realizar el recorte de la parte que solo deseamos reconstruir.

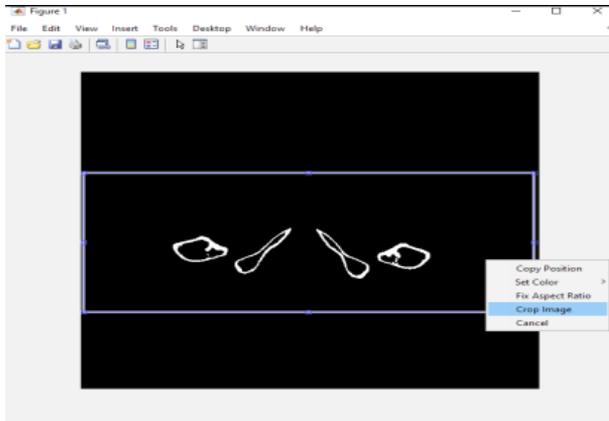
Fase de selección de reconstrucción

Debido al tamaño de los archivos y a que se debe realizar un análisis píxel a píxel en algunas instancias del proceso, es conveniente reducir la mayor cantidad de información posible, eliminando la innecesaria. Esta eliminación de información se realiza por medio de un recorte de la imagen.

Por medio de la selección del segmento de la imagen que se desea procesar se logra disminuir el tamaño de cada archivo teniendo en cuenta sólo la parte de interés. Para este fin el script muestra una imagen

central con la que se debe seleccionar el segmento y elegir “crop image”.

Fotografía 5. Recorte de cuadro de reconstrucción



Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el recortado de la imagen que vamos a trabajar, se hace el procesado de imagen por imagen se aplica los filtros y se ajusta el contraste.

Fotografía 6. Ajuste de contraste y primeros filtros

```
for s=0:(numFrames-1)
nombre=sprintf('%s%d%s',in,s,'.tiff');
I=imread(nombre);
[k l m]=size(I);
if m==4
I(:, :, 4)=[];
end
I2=imcrop(I,rec);
I2=rgb2gray(I2);
I2=imadjust(I2,[0.28;1],[]);
I2b=I2>=1;
I2b=medfilt2(I2b);
```

Fuente: Elaboración propia

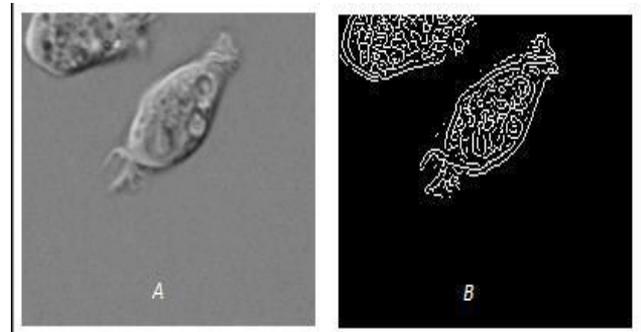
Fase de reconstrucción de la parte ósea

La morfología del hueso de la cadera es sólida, por esta razón se debe de hacer un procesamiento especial y diferente al de los que son de morfología hueca, ya que este tipo de huesos se debe rellenar y lograr que la imagen de toda la pieza quede completamente blanca eliminado los contrastes correspondientes a la parte esponjosa del hueso.

Para este caso se utilizan técnicas de segmentación en el procesamiento de las imágenes. El objeto a ser segmentado, la pieza ósea, difiere notablemente en contraste con el fondo de la imagen en el caso de que

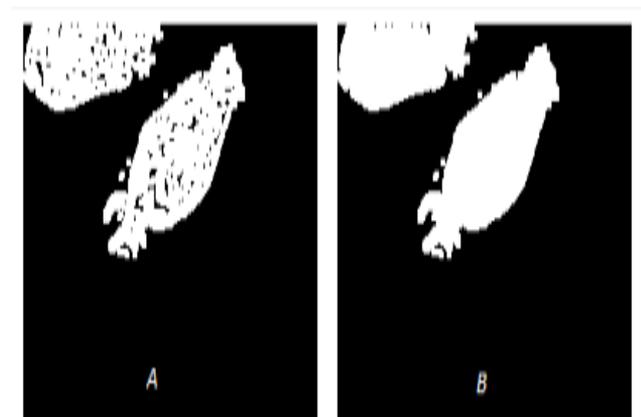
del paso anterior no se llegue con una imagen binaria. Estos cambios de contraste pueden ser detectados por medio de un operador que calcula el gradiente de la imagen. El gradiente se calcula y se aplica un umbral para crear una imagen binaria que contenga el objeto de interés. Primero, se utiliza el comando edge para determinar el borde con el operado Sobel para calcular el valor umbral. Cuando está definido este umbral se aplica nuevamente el comando edge para obtener la imagen binaria. En la siguiente fotografía se presenta un ejemplo de la imagen resultante obtenida a partir de una imagen con contraste, apreciándose el efecto de lo descrito.

Fotografía 7. Ejemplo de una parte ósea de morfología sólida



Fuente: Elaboración propia

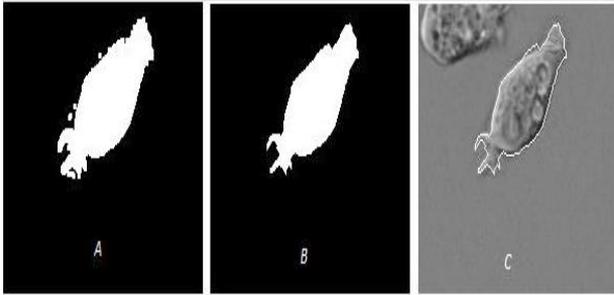
Fotografía 8. Imagen de una parte ósea con relleno



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para respetar el borde del objeto se erosiona la imagen con la misma estructura lineal con la que se había dilatado. En la siguiente fotografía se observa la imagen con los elementos extra eliminados, la imagen erosionada y el contorno resultante comparado con la imagen original.

Fotografía 9. Imagen de la parte ósea después de los filtros



Fuente: Elaboración propia

Fase de construcción de la nube de puntos

Esta etapa consiste en recorrer las imágenes procesadas píxel por píxel, guardar las coordenadas correspondientes a la posición de cada píxel perteneciente a la pieza ósea, es decir, píxeles de color blanco.

Fotografía 10. Código de la reconstrucción de la nube de puntos

```
matrix=[];
n=0; i=1;hl=0.5;cc=0;
ProcIm=0;
for S=0:numFrames-1
z=S*0.5;
ProcIm=ProcIm+1;
Comp=ProcIm*90/numFrames;
str = [' completado ', num2str(Comp), '%'];
disp(str)
nombre=sprintf('imf%d',S);
Imagen=imread(nombre);
M=[];
for coordy=1:b
for coordx=1:a
x=coordx/2; y=coordy/2;
valpix=impixel (Imagen, coordx, coordy);
if valpix(1)>0
matrix(i,:)= [n x y z hl]; i=i+1; n=n+1; cc=cc+1;
M(cc,:)= [n x y z];
end;
end;
end
cc=0;
Mname=sprintf('M%d',S);
dlmwrite (Mname,M);
end
% Se grafica la nube de puntos obtenida
plot3(matrix(:,2),matrix(:,3),matrix(:,4),'.')
axis equal
```

Fuente: Elaboración propia

En este bloque del script se recorre cada una de las imágenes en la ventana especificada por el recorte

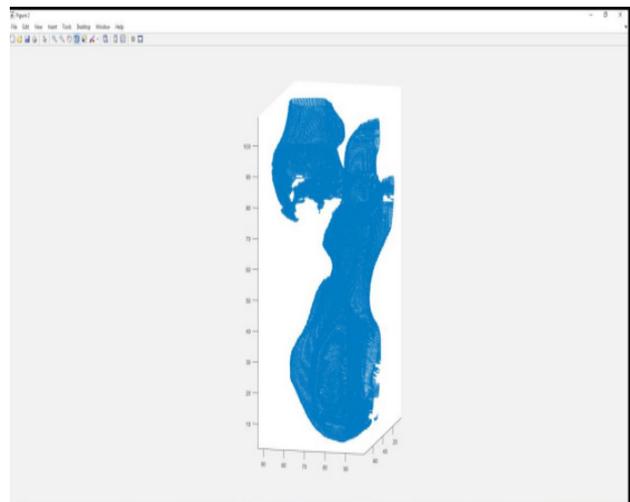
de la sección anterior. La rutina lee los valores de cada píxel, cuando el valor es 255 (blanco) guarda la información de la posición de x e y correspondiente a dicho píxel teniendo en cuenta que cada píxel tiene una dimensión real de 0,5mm x 0,5mm. Se le asigna un valor z, correspondiente al número de corte tomográfico multiplicado por el espaciado tomográfico.

Fotografía 11. Reconstrucción de la nube de puntos capa por capa



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 12. Nube de puntos de la parte ósea



Fuente: Elaboración propia

Fase del mallado de puntos

Debido a algunas características de las nubes de puntos que se obtienen para las distintas piezas óseas, el mallado tridimensional, es decir, la construcción

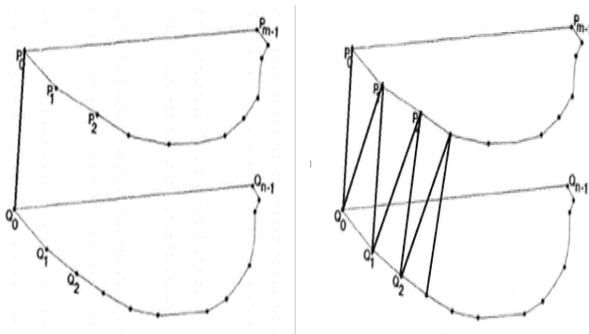
de los elementos (triángulos en nuestro caso) que formarán la superficie no se recomienda realizar directamente con las herramientas de MATLAB. La nube de puntos representa una morfología muy irregular y con diferencias de contornos plano a plano, lo que dificulta para las rutinas existentes para la reconstrucción.

Para lograr un mallado adecuado, teniendo en cuenta el proceso de obtención de los puntos, se desarrolló un script que realiza la triangulación de la superficie para luego graficarla con las herramientas que brinda el software utilizado.

El objetivo de esta rutina es reconstruir triángulos que logren representar la superficie ósea, además de obtener la información de la manera adecuada que permita luego traducir la nube de puntos al formato STL, uno de los más utilizados en la impresión 3D.

Como primer paso, se unen segmentos para cada plano Z de la nube de puntos, es decir, se definen líneas entre dos puntos. Cada línea se obtiene tomando cada uno de los puntos del plano y midiendo la distancia a todos los demás puntos de dicho plano para luego elegir el punto de menor distancia y así obtener las líneas de longitud mínima. Para que no se repitan las parejas de puntos, luego de que se elige una pareja para cada punto se lo elimina de la serie. Estas líneas serán posteriormente uno de los lados de cada triángulo de la superficie.

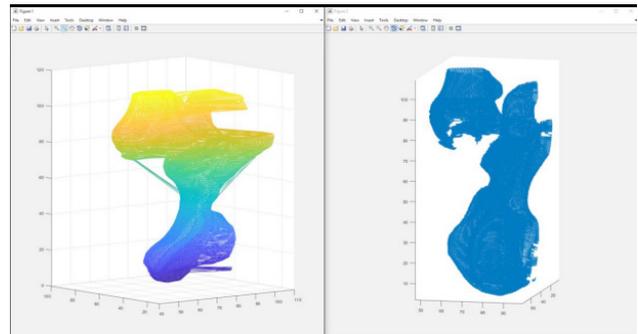
Fotografía 13. Proceso de la triangulación en la nube de puntos



Fuente: Elaboración propia

Luego del proceso de la triangulación y de haber unido todos los puntos de la nube, se procede a la verificación y observación del resultado.

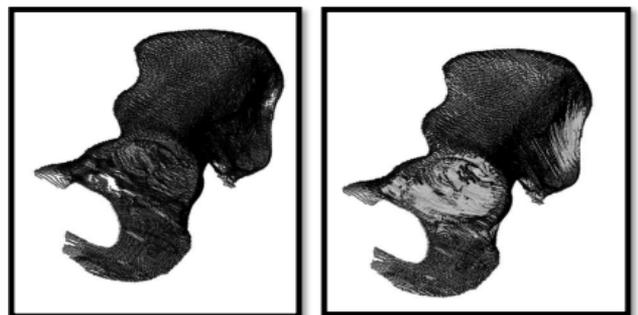
Fotografía 14. Comparación del mallado con la nube de puntos



Fuente: Elaboración propia

Para poder evidenciar que las reconstrucciones hechas son adecuadas, podemos visualizar la nube de puntos y el mallado en el programa MESHLAB que nos ayudara a quitar las partes que no son necesarias y verificar de mejor forma la reconstrucción del techo acetabular.

Fotografía 15. Verificación del modelo 3D



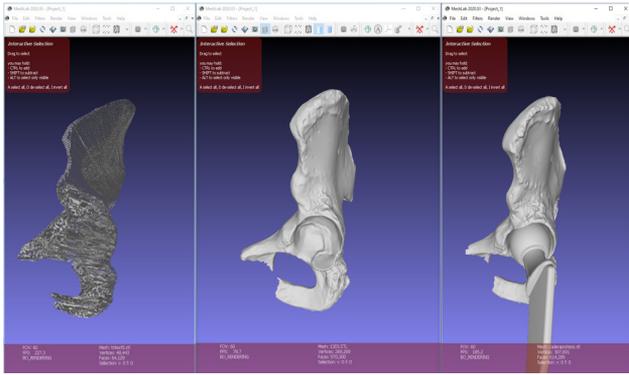
Fuente: Elaboración propia

En la anterior fotografía podemos ver como la parte negra es la nube puntos de la tomografía que hemos reconstruido, se puede apreciar los defectos y las partes en donde falta una parte ósea, y en la imagen de la derecha podemos notar la parte blanca que es la parte de la reconstrucción, como va rellanando las partes huecas.

Fase de validación y renderizado

Como parte final de la presente investigación se realizó el renderizado de la imagen con mallado para la apreciación de la reconstrucción realizada por nuestro software, esto también sirvió para que los médicos especialistas puedan analizar y validar el resultado obtenido.

Fotografía 16. Imagen renderizada del mallado y resultado final



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 17. Informe médico evaluando y validando los resultados obtenidos

INTRODUCCIÓN

La artroplastia total de cadera es una de las intervenciones quirúrgicas más exitosas y rentables en la medicina, catalogándose como la cirugía del siglo. Hoy en día, los pacientes con osteoartritis de cadera, se presentan a una cirugía de reemplazo articular con la esperanza de restaurar su calidad de vida, ya que proporciona alivio confiable del dolor y mejora su funcionalidad. La mayoría de las prótesis de reemplazo total de cadera primaria tienen una supervivencia de al menos 10 años, y existe mayor demanda de dicha cirugía en nuestra población debido a la creciente esperanza de vida.

La revisión de la artroplastia de cadera es la cirugía que se realiza cuando el reemplazo articular primario falla. Este complicado procedimiento reconstructivo articular requiere una comprensión integral de la anatomía ósea Anormal; por este motivo los cirujanos ortopedistas tenemos la necesidad de poder apreciar áreas de insuficiencia ósea, deficiencia y discontinuidad, para realizar reconstrucciones complejas.

Los avances en radiología y tecnología de fabricación han hecho que se pueda obtener una representación tridimensional de la anatomía ósea, que proporciona retroalimentación visual y táctil para poder encarar los defectos óseos con mayor precisión quirúrgica

Los modelos de tamaño natural nos permiten a los cirujanos, una simulación quirúrgica precisa, mejorando así la apreciación anatómica y la planificación preoperatoria.

EVALUACIÓN DEL TRABAJO

Observando los resultados obtenidos y haciendo una evaluación técnica del biomodelo 3D realizada por el software del estudiante Mauricio Duran se pudo observar los siguientes puntos:

- La forma anatómica de la cadera y sus defectos no se ha visto alterada y tiene una representación real de la tomografía en 2D que se le proporciono para realizar el trabajo.
- Corrección adecuada del defecto acetabular que presenta el paciente.
- Falta un poco de calidad y nitidez en el biomodelo, quizá esto es causado por que las tomografías utilizadas que no cuentan con los requisitos que se sugieren para la reconstrucción.
- Habría que afinar unos detalles para que el biomodelo sea lo más preciso posible.

En conclusión, el biomodelo presentado está yendo por buen camino, es un trabajo innovador que en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra no hay una institución todavía que esté realizando este tipo de implantes y los profesionales que tienen la necesidad de resolver este problema con este tipo de técnicas se ven obligados a recurrir a empresas del exterior aumentando costos y tiempo para la operación. El biomodelo cumple con lo necesario, quedando pendiente una revisión física de la prótesis para determinar si esta apta para una operación o faltaría realizar algunos ajustes.

Atte.

Dr. PABLO JUSTINIANO S.
Ortopedia y Traumatología
M. N. 147.726 - M. P. 550.514

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para la fase Obtención de las imágenes tomográficas 2D se realizó pedidos a pacientes que sufren de deficiencia en la parte de la cadera para su posterior análisis.

Para la fase de conversión de formato las imágenes en formato DICOM (nativo) se convirtieron a formato

TIFF, por las características que este formato presente para la facilidad en el procesamiento de imágenes.

Para la fase de procesamiento digital de se preparó las imágenes para poder obtenerlas de forma binaria, así se podrá observar mejor las figuras óseas y esto facilitará la reconstrucción en 3D.

Para la selección de reconstrucción se tomó en cuenta solo el área que abarca las partes óseas de las tomografías, esto con el fin de evitar el procesamiento digital en partes donde no hay interés y reduciendo considerablemente el tiempo de proceso.

Para la fase de construcción de la nube de puntos se consideró la imagen ya procesada, donde los puntos con valor 1 eran los puntos por reconstruir y estos se fueron sobreponiendo capa a capa creando la forma de la imagen tomografía y la parte ósea real.

Para la fase del mallado se utilizó el algoritmo de los puntos P y Q, este algoritmo nos permite unir los puntos Py Q más cercanos por medio de la triangulación, así creando las partes óseas faltantes que posteriormente será la prótesis personalizada del paciente y esto se podrá imprimir en 3D para el colocado en el paciente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda tomar en cuenta nuevas técnicas de reconstrucción de imágenes para tener resultados más favorables.

Se recomienda ampliar el uso de softwares libres y más potentes para mejores resultados

Para la fase de mallado se recomiendo investigar otros algoritmos que nos permitan reducir el tiempo de procesado ya que actualmente tarda entre 3 y 4 horas. Se recomienda seguir con la línea base de la investigación en elaboración de prótesis personalizadas.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AJATA, D. 2019. Problemas de acetábulo en Santa Cruz de la Sierra. Entrevistador: Mauricio Durán. Bolivia.
- [2] FLORES, H. 2019. Problemas de acetábulo en Buenos Aires - Argentina. Entrevistador: Mauricio Durán. Bolivia.
- [3] JUSTINIANO, P. 2020. Prótesis actuales en operaciones en reconstrucción de caderas en Bolivia y Argentina. Entrevistador: Mauricio Durán. Bolivia.
- [4] AkansuI, R.H. 1991 Filtros Gaussianos binomial rápidas para el habla y procesamiento de imágenes. Editorial: IEEE.
- [5] ASEGURADO. 2016. Técnicas de reconstrucción en tres dimensiones. Sin editorial. España.
- [6] CAMPOS, V. 2007. MATLAB para Ingenieros. Editorial: Pearson. México.
- [7] FEDERICO, B. 2002 Revisión Acetabular: métodos de reconstrucción. AAOT.
- [8] CANEDA, V. & AMES T. 2004. Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos. Editorial: CIP, Perú.



Ever Mauricio Durán Vargas.

Ingeniero en Sistemas Electrónicos titulado de la Escuela Militar de Ingeniería – Unidad Académica Santa Cruz.

Encargado de Laboratorio de Automatización, Control y Mecánica de la Unidad de Investigación Ciencia y Tecnología de la Unidad Académica Santa Cruz - Escuela Militar de Ingeniería.