

MODELO DE MAXILAR HUMANO

Claudio A. Careglio

LAPIC, Instituto Tecnológico Universitario, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo
Parque General San Martín, 5500 Mendoza, Argentina [*]. E-mail: careglio100@hotmail.com

RESUMEN

Debido a los factores de carga, presentes durante el vuelo, los pilotos sufren de patologías de la articulación temporomaxilar. Para estudiar los esfuerzos presentes en dicha articulación se desarrolló un método para representar en CAD al maxilar inferior a partir de un modelo de yeso. En primer lugar se construyó un modelo experimental, para verificar que el método fuera adecuado. Luego se hizo el modelo de yeso definitivo para construir el modelo geométrico en Mechanical Desktop e importarlo a MSC_Nastran para encontrar, por el método de elementos finitos, los esfuerzos y desplazamientos en el maxilar. En este análisis eran de particular importancia los desplazamientos en la articulación temporomaxilar, debido a que son uno de los causantes de las lesiones en dicha zona.

ABSTRACT

Due to the load factors, present during the flight, the pilots suffer of pathologies of the temporomaxillar articulation. To study the present efforts in this articulation a method it was developed to represent in CAD the inferior maxillary starting from a model of plaster. In the first place it was built an experimental model, to verify that the method was adapted. Then the pattern of definitive plaster was made to build the geometric pattern in Mechanical Desktop and to care him to MSC_Nastran to find, for the method of finite elements, the efforts and displacements in the maxillary one. In this analysis they were of particular importance the displacements in the temporomaxillar articulation, because they are one of the causing of the lesions in this area.

INTRODUCCIÓN

Los pilotos de aviones, en particular de aviones cazas, en vuelo normal y en especial en maniobras con altas aceleraciones de la gravedad tienden a presionar los dientes para mantener la boca cerrada, lo cual les produce lesiones en la articulación temporomaxilar. Fue necesario realizar un modelo para poder estudiar este problema, utilizando elementos finitos, dado que no se encontraron datos sobre los esfuerzos a los que se ve sometida durante el vuelo la articulación del maxilar inferior, de complicada geometría [1].

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL

Se concibió representar un modelo a partir de cortes a diferentes alturas realizados con tomografía computada. Se observó que las imágenes de tomografías no representaban con buena definición las formas de las curvas que aparecen en cada capa, excepto que se usara el software que provee el tomógrafo. Por otra parte, el costo de las mismas es significativo.

Una forma alternativa de realizar el modelo de elemento finito de la mandíbula era utilizar resina de dos colores distintos. Una de estas resinas debería tener la forma de un paralelepípedo rectangular de forma de

*El presente trabajo fue realizado en el Instituto Universitario Aeronáutico, Fuerza Aérea Argentina.

Contener la mandíbula. El corte de las diferentes capas se realizaría con un micrótopo. Se presentaba el inconveniente de no tener un mismo punto de referencia y de que en las resinas se podrían presentar distorsiones.

Se decidió realizar un modelo utilizando yeso, el cual es usado hace años en odontología para realizar moldes para prótesis. Este material viene en distintos colores, ofreciendo además un excelente copiado de los modelos [2]. Se efectuó un modelo de yeso para corroborar que las hipótesis antes mencionadas fueran correctas. Para ello se obtuvo, con alginato de calcio, un molde a partir del cóndilo de una mandíbula humana el cual se relleno con yeso de color naranja. Luego se quitó el alginato de calcio del yeso. Este modelo se colocó en un envase de plástico, el cual se relleno con yeso verde, y se pegó al utilaje que se muestra en la figura 1.

En este utilaje puede observarse unos agujeros que fueron realizados para lograr una correcta unión entre el utilaje y el modelo a ensayar. También pueden verse los limbos, con veinticuatro divisiones cada uno, en los cuales cada división equivale a una traslación del perfil de 0.05 milímetros. Para este ensayo se tomaron las muestras cada cuatro divisiones que es equivalente a una traslación de 0.2 milímetros del perfil respecto a los tornillos, ver figura 1.



Figura 1: Utilaje de prueba

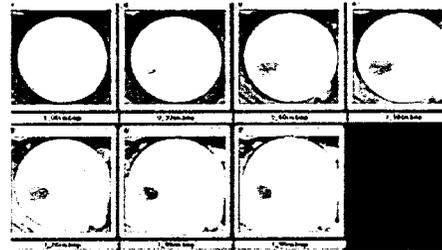


Figura 2: Muestras de prueba

Para tomar las muestras se lijó el bloque hasta que los tornillos se asentaran perfectamente sobre un vidrio, tomándose a esta altura como referencia cero. Luego se escaneó la superficie obtenida y se observó que era necesario contar con un punto referencia para poderlo tomar como origen de coordenadas y de esta forma realizar la reconstrucción del modelo en CAD; por lo que se colocó el utilaje sobre cuatro soportes, es decir, dos a cada lado del escaner. Se desplazaba el perfil cuatro divisiones (0.2 milímetros) y se lijaba hasta que apoyaran los tornillos sobre el vidrio. Luego se escaneaba la superficie obtenida anteriormente, repitiendo este procedimiento hasta que no se obtuvieron más superficies de yeso de color naranja, indicando esto que se escaneó la totalidad del modelo. Algunas de las muestras relevadas pueden observarse en la figura 2, las cuales representan secciones del cóndilo. La construcción del modelo geométrico se explicará en las páginas siguientes.

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE YESO

Para construir el modelo se empleó un maxilar inferior humano, ver figura 3, que posee un tamaño adecuado y tiene una forma bien definida, con lo cual es apto para representarlo. Se comprobó que los materiales adecuados eran yeso piedra Pescio, de color verde; yeso densita, de color naranja; y alginato de calcio. Estos yesos son usados en odontología, siendo materiales estables y que copian las formas de los moldes con una buena calidad. El alginato de calcio es apropiado para realizar moldes, dado que se puede realizar un muy buen copiado de las formas. Con la pasta de alginato de calcio se tomó la impresión de la mitad del maxilar debido a que es simétrico respecto al plano sagital. Este molde se relleno con el yeso de color naranja, empleando una máquina vibradora para evitar la inclusión de aire y lograr una distribución

homogénea del material. Se dejó fraguar y se retiró el alginato de calcio, obteniéndose el modelo de la figura 4.

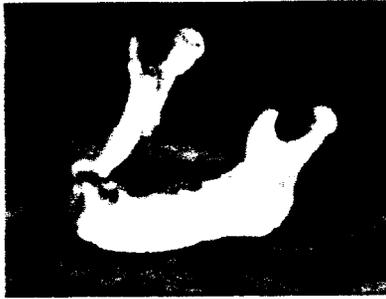


Figura 3: Maxilar inferior humano

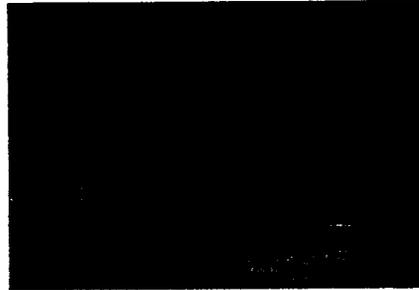


Figura 4: Modelo de yeso del maxilar inferior

Este modelo se colocó en un recipiente, se relleno con yeso verde, obteniéndose un bloque. Se dejó fraguar y se retiró el recipiente del yeso. El objeto de emplear un bloque era para que se pudiera efectuar el lijado, a diferentes alturas, en forma correcta.

Para poder relevar el modelo fue necesario construir un utilaje con limbos que permitiera tomar las muestras con el escáner a distintas alturas, conservando un mismo punto de referencia. Además, era necesario utilizar una lijadora orbital debido al tamaño del bloque. En la figura 5 puede apreciarse el utilaje y el bloque de yeso.

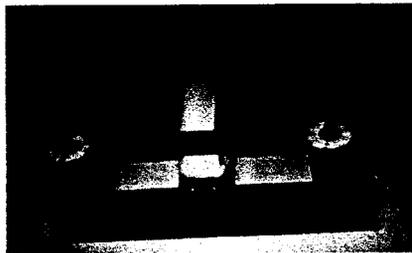


Figura 5: Bloque y utilaje

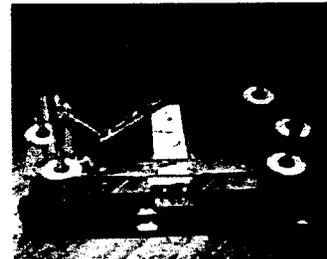


Figura 6: Lijado del yeso

Los perfiles, que forman la estructura del utilaje, donde se colocaron las seis varillas roscadas, se agujerearon con una perforadora de banco, obteniéndose un desplazamiento vertical de la placa lo más recto posible. Para obtener las cotas de cada muestra se utilizaron limbos. Un giro de 360° del dial de los limbos produce un desplazamiento de la placa, en sentido vertical, de 3.2 milímetros.

En una plataforma de madera se realizaron agujeros para introducir en ellos las varillas roscadas del utilaje, lo que permitió tener una misma referencia para escanear las muestras de los diferentes cortes del modelo. Luego, se procedió a pegar el bloque de yeso en el utilaje con adhesivo epoxi, empleándose este tipo de unión para que resistiera el peso del bloque y las vibraciones transmitidas por la lijadora orbital.

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO

Para poder realizar el modelo geométrico, tomando como base al experimental, se importaron las muestras

a Autocad 14, eligiéndose como referencia el borde superior izquierdo de las figuras, importándose cada figura con coordenadas $X = 0$, $Y = 0$ y $Z =$ coordenada que indica la distancia vertical respecto a la figura de referencia. Los contornos de las superficies escaneadas se representaron mediante pequeñas rectas, llegando a formar en cada figura curvas cerradas. Luego se procedió a unir a estas curvas por medio de mallas, lográndose de esta forma reconstruir el modelo en Autocad 14, llegándose a la conclusión de que este método era el adecuado para poder representar el modelo en el cual se estudiarían las cargas presentes durante el vuelo.

Para relevar los cortes se experimentó con diferentes formatos de imágenes, como por ejemplo imágenes adquiridas en escala de grises con alta resolución o en colores con menor resolución. Al ampliar las imágenes se observó que se trabajaba mejor en colores, porque permitía una fácil distinción de los diferentes yesos empleados. Además, se eligió el formato BMP; porque aunque este es un formato de gran tamaño permitía su empleo en todos los softwares empleados.

Con una lijadora orbital se lijó hasta donde la placa lo permitía, figura 6, para luego adquirir las imágenes con el escáner. Se repitió este procedimiento hasta lijar todo el bloque de yeso, tomándose en total veintidós muestras. En el sector donde se ubica el cóndilo y la apófisis coronoides se tomaron muestras cada 1.6 milímetros, debido a que ésta es la zona más importante a relevar, porque es donde se producen las patologías estudiadas. El resto de las muestras se tomaron cada 3.2 milímetros. Un ejemplo de estas muestras puede observarse en la figura 7.

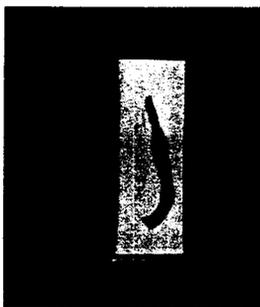


Figura 7: Muestra

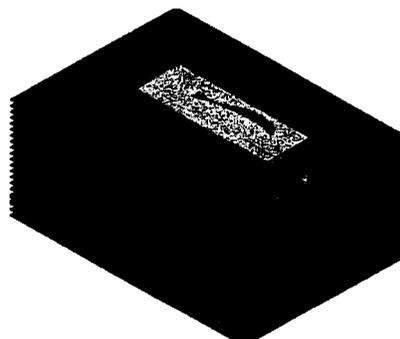


Figura 8: Muestras superpuestas

Se importaron las figuras escaneadas a Autocad 14, llevándolas a escala uno en uno al afectarlas por un factor de escala. Las coordenadas a las que se importó aparecen en la tabla I. En la figura 8 pueden observarse la totalidad de las figuras importadas, las cuales al colocarlas a iguales cotas con las que fueron relevadas, permitieron reconstruir en CAD al maxilar inferior.

En cada una de las figuras y sobre las mismas se dibujó en Autocad, utilizando el comando polyline, siguiendo el contorno de las superficies de yeso de color naranja; para ello se trabajó con las imágenes ampliadas. De esta forma se obtuvo sólo la mitad del maxilar inferior, que como se explicó anteriormente es simétrico respecto al plano sagital. Para obtener el maxilar inferior completo se debió utilizar la función espejo. El modelo obtenido en polyline es el que aparece en la figura 9.

Para realizar el mallado de CAD se decidió trabajar con el software Mechanical Desktop [3], ya que cuenta con mayores y mejores herramientas para mallados que el Autocad 14. Para realizar el mallado entre las capas de polyline se utilizó el comando blend. En la figura 10 puede apreciarse el mallado completo en diferente escala de grises que indican las distintas mallas y capas de polyline. Con el procedimiento anteriormente descrito se obtuvo un modelo preciso, pero el archivo que lo contiene tiene un gran tamaño, 21.7 Mbytes, haciendo esto muy difícil su manejo. Por este motivo se tuvo que realizar un nuevo

mallado en Autocad 14 obteniéndose un archivo de menor tamaño , 517 Kbytes , pero a su vez simplificado respecto al modelo original.

Tabla I: Coordenadas

Número de vuelta del dial	Coordenadas en mm.		
	x	y	z
7	0	0	11,2
9	0	0	14,4
11	0	0	17,6
12	0	0	19,2
13	0	0	20,8
14	0	0	22,4
16	0	0	25,6
18	0	0	28,8
20	0	0	32
22	0	0	35,2
24	0	0	38,4
26	0	0	41,5
28	0	0	44,8
30	0	0	48
32	0	0	51,2
34	0	0	54,4
36	0	0	57,6
38	0	0	60,8
40	0	0	64
42	0	0	67,2
44	0	0	70,4
46	0	0	73,6

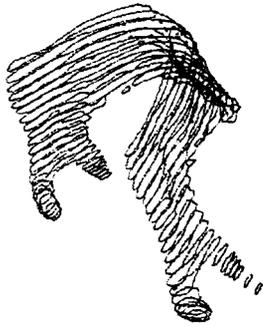


Figura 9: Dibujo en polyline



Figura 10: Dibujo con mallas

ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

Se importó el modelo de Autocad 14 al software MSC_Nastran. Se utilizaron elementos placa, debido a que el espesor del hueso es pequeño en comparación con las otras dos dimensiones. Con respecto al material se emplearon las propiedades del tejido óseo [4] ; el mismo es anisotrópico, pero para huesos cortos puede considerarse isotrópico. Se obtuvieron 1945 elementos tipo placa y 1970 nodos.

Con respecto a los vínculos se consideró el caso más crítico que es manteniendo la boca cerrada presionando con los dientes. Estos vínculos representan los músculos temporal, masetero y pterigoideo interno [5;6]. Finalmente se realizó el estudio elástico de la influencia de la aceleración de la gravedad en el maxilar inferior, en particular para casos de factores de carga límites por maniobra simétrica en z [7] establecidos por las normas F.A.R. 23, F.A.R. 25 y MIL-STD; obteniéndose como resultado desplazamientos y tensiones. En la figura 11 puede apreciarse los desplazamientos obtenidos para un factor de carga positivo de 4.4 g en dirección del eje z de un avión. Los casos analizados demostraron que los factores de carga elevados pueden producir patologías en la articulación temporomaxilar (A.T.M.).

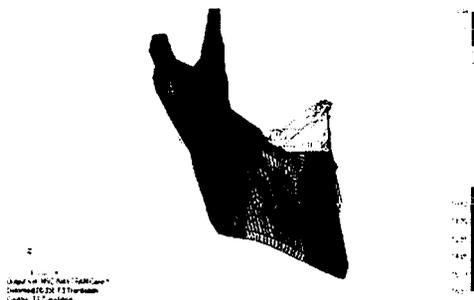


Figura 11: Traslación en dirección z del maxilar inferior

CONCLUSIONES

El método anteriormente descrito permite obtener un modelo preciso y económico, que puede ser aplicado a otras geometrías complicadas de las cuales es necesario obtener un modelo en CAD. Presenta el inconveniente de que es necesario destruir el modelo de yeso para poder obtener el modelo geométrico.

REFERENCIA

- [1] Careglio, C. A., *Optimización de la ergonomía de vuelo*, Instituto Universitario Aeronáutico, Fuerza Aérea Argentina, Vol. 1, 1999.
- [2] Méndez, J. C., *Química General*, Facultad de Ingeniería, Universidad de Mendoza, Vol. 1, 1993.
- [3] Autodesk, Inc., *Tutorials*, Autodesk Inc., 9ª edición, U.S.A., 1998.
- [4] Lee, R., *Bone Biomechanics*, School of Physiotherapy, The University of Sidney, 1998.
- [5] Rouviere, H. - Delmas, A., *Anatomía humana - Descriptiva, topográfica y funcional - Cabeza y cuello*, Vol. 1, Masson, 9ª edición, España, 1988.
- [6] Testut, L. - Latarjet, A., *Tratado de Anatomía humana - Osteología, artrología, miología*, Vol. 1, Salvat, 9ª edición, Barcelona, 1985.
- [7] Bazán, A., *Diseño preliminar de aviones*, Instituto Universitario Aeronáutico, Fuerza Aérea Argentina, Vol. 1, 1999.