

Metodología para el modelado y la manufactura de una prótesis del maxilar inferior para su posible tratamiento por deformación congénita

Methodology for modeling and manufacture of a lower jaw prosthesis for its possible treatment by congenital deformation

Pablo Moreno Garibaldi,^a Juan Alfonso Beltrán Fernández,^a
Luis Héctor Hernández Gómez,^a Francisco López Saucedo,^b Noemí Corro Valdez,^a
Jonathan Martínez Paredes^a

^aSEPI-ESIME- Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.

^bDepartamento de Cirugía Maxilofacial, Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional la Raza, México D.F., México.

Recibido: 28/05/2016; revisado: 08/10/2016; aceptado: 24/01/2017

P. M. Garibaldi, J. A. Beltrán-Fernández, L. H. Hernández Gómez, F. López Saucedo, N. Corro-Valdez, J. Martínez Paredes "Metodología para el modelado y la manufactura de una prótesis del maxilar inferior para su posible tratamiento por deformación congénita," *Jou.Cie.Ing.*, vol. 9, no. 1, pp. 7-12, agosto de 2017.

Resumen

Se presenta el caso clínico de un paciente de 19 años de edad con secuelas de hipoplasia y anquilosis temporomandibular bilateral, que le ocasionaron problemas de habla y masticación, pues sólo es capaz de abrir la boca un máximo de tres milímetros dificultando estas importantes acciones básicas. Aunado a esto, ha tenido un importante número de cirugías que no han solucionado el problema, ya que solo han recurrido al uso de materiales de uso común, como lo son las placas de osteosíntesis y polímeros, lo que ha resultado en un trabajo complejo debido al grado de reconstrucción que se requiere. Con el propósito de generar una solución viable para el problema del paciente citado previamente, se obtiene una tomografía axial computarizada, que sirve para digitalizar y parametrizar la región del maxilar y el daño presentado en el mismo, con el objetivo de generar un modelo digital de prótesis totalmente funcional, dando paso a un prototipado rápido de la geometría que será considerada como apoyo para una interpretación física por la parte médica, instancia que puede solicitar modificaciones en el diseño e incluso determinar si es viable o no, pero de ser aprobada se procede a la generación de moldes y a la manufactura de la prótesis definitiva.

Palabras Claves: Prótesis, maxilar inferior, reconstrucción, metodología.

Abstract

The clinical case of a 19 years old patient with hypoplasia sequels and bilateral temporomandibular ankylosis is presented, these problems cause difficulties at the time of talking and chewing, because he is only able to open his mouth three millimeters maximum, affecting these important basic actions. In addition, he has had a significant number of surgeries that have not solved the problem, because surgeons only resorted to the use of commonly used materials, as osteosynthesis plates and polymers, resulting in a complex work due to the grade of reconstruction required. In order to generate a viable solution to the problem of patient previously mentioned, a tomography is used to digitize and parameterize the maxilla and damage presented in it, with the objective to generate a fully functional digital model prosthesis, which

will lead to a rapid prototyping geometry that helps as support for a physical interpretation by the medical part, instance that may request changes in the design and even determine if it is viable or not, but if it's approved, proceeds to the generation of molds and the manufacturing of the final prosthesis.

Keywords: prosthesis, lower jaw, reconstruction, methodology.

1. Introducción

La reconstrucción mandibular ha sido desde siempre, uno de los aspectos más complejos de la cirugía reconstructiva de cabeza y cuello, principalmente porque se trata de un componente fundamental de la cara que cumple con funciones muy importantes, involucrando no solo la parte estructural y estética, sino también la masticación y el lenguaje.

Una imagen frontal obtenida de la tomografía del paciente que muestra su grado de afectación se observa en la figura 1, en la cual se corrobora como la estructura ósea de la cara se caracteriza por su desarrollo en forma coordinada, es decir que el crecimiento de cada uno de sus componentes influye directamente en los demás, de tal forma que si existe alguna anomalía en el crecimiento de un hueso facial, este repercutirá en la morfología y el desarrollo de toda la estructura.



Figura 1. Grado de afectación de paciente (Tomografía)

El punto de partida para el crecimiento de la mandíbula es el cóndilo, y a este se le acreditan alteraciones como el desarrollo de la hemimandíbula correspondiente. En el transcurso de su desarrollo la mandíbula se desplaza hacia abajo y adelante; además en su crecimiento no solo participa el desarrollo del cóndilo sino también fenómenos de aposición ósea perióstica y remodelación.

Las anomalías o deformidades congénitas que afectan al cóndilo y cavidad glenoidea por lo regular ocurren durante el tercer trimestre de gestación. Cuando el crecimiento es insuficiente, la rama es corta o casi ausente y el cuerpo de la mandíbula se desalinea o

curva para poder articularla, además el mentón se desvía hacia el lado afectado como es mostrado por las figuras 2 y 3. Aunado a esto, se sabe que en pacientes con deformidad mandibular, es totalmente común hallar anomalías condilares.

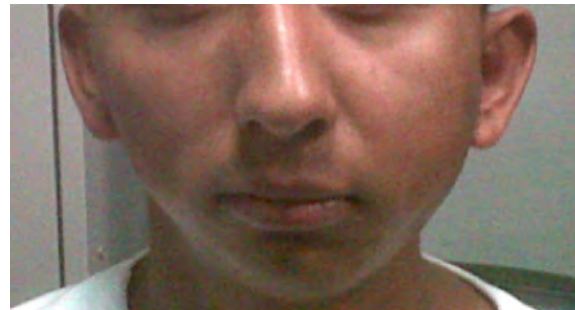


Figura 2. Paciente con deformidad congénita

Cuando la hipoplasia se presenta de forma unilateral ocasiona el síndrome de microsomía hemifacial [1, 2], como se muestra en las figuras 2 y 3.

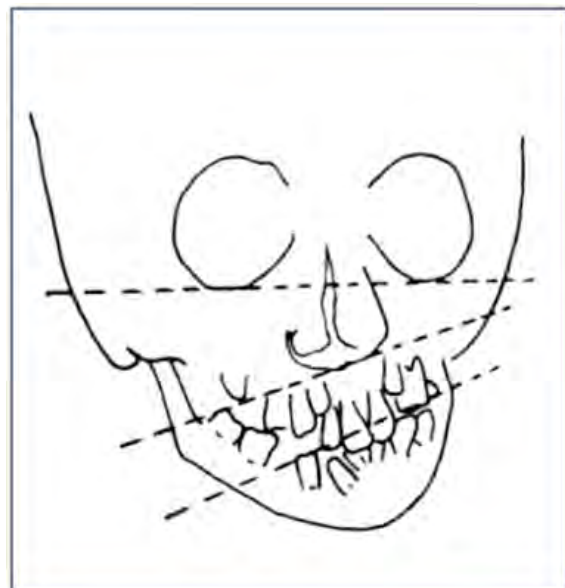


Figura 3. Microsomía hemifacial [3].

Como consecuencia de las anomalías citadas previamente, el paciente se vio afectado por anquilosis

temporomandibular, que es en esencia el estado final de muchos procesos traumáticos, infecciosos y degenerativos que siguieron un proceso nada favorable, llevando a la anulación funcional de la ATM. Esta región se afecta total e íntegramente aunque se registre solo lesión en una de las dos diartrosis que impida su movilidad (figura 3). La constricción y rigidez temporomandibular se generan debido a fibrosis con retracción que fija las piezas óseas. En la anquilosis la unión es firme, e impide toda movilidad de la ATM. Como única solución para el tratamiento a este problema, existe un método quirúrgico llamado artroplastía [4].

Para dar solución a los problemas estructurales del maxilar inferior, se plantea el diseño y la manufactura de una prótesis personalizada, la cual reconstruirá la región afectada, devolviendo la movilidad y su funcionalidad tanto estructural como estética, incorporando al paciente a una vida normal.

2. Teoría

Por tratarse de un grado de afectación de alto perfil en donde se involucra asimetría facial y pérdida de tejido óseo, se propone el uso de herramientas tecnológicas actuales que darán como resultado una prótesis personalizada, para la cual se requiere obtener la mayor cantidad posible de información de la geometría a la cual se va a enfocar el diseño. Por ello, se decidió partir del uso de la tomografía axial computada (TAC), la cual se basa en imágenes radiográficas de secciones progresivas que permiten observar el interior del organismo que se estudia, y además permite obtener imágenes 3D si se manipula correctamente [5].

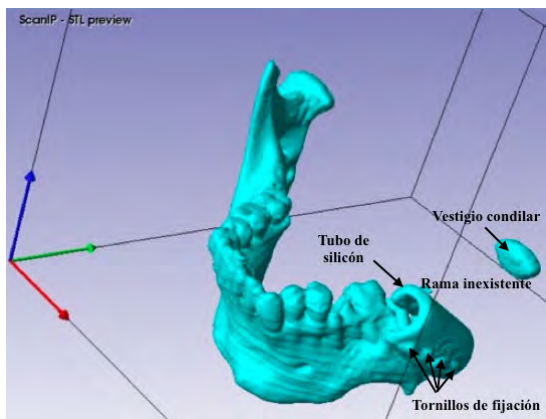


Figura 4. STL de región mandibular

El biomodelado comienza a partir de este punto con el manejo de la tomografía que contiene las imágenes de los cortes tomográficos de la cabeza del paciente, estos archivos llamados DICOM son importados al programa ScanIP® para su manipulación.

El programa de cómputo antes mencionado, trabaja bajo la acción de herramientas y filtros que permiten seleccionar y eliminar secciones o regiones de cada uno de los cortes de la tomografía, con la finalidad de formar mascararas de las regiones de importancia. Una vez teniendo todos los parámetros definidos, solo es necesario renderizar los cortes trabajados hasta el momento, punto en el cual, la computadora procesará toda la información antes ingresada para dar como resultado final un modelo digital o archivo STL, como se muestra en la figura 4, en la cual prevalecen solo las regiones de interés, como lo es el pequeño cóndilo existente del lado afectado, que es usado como punto de referencia para crear uno nuevo, el cual debe formar parte del diseño de regeneración de la rama faltante, misma que debe ensamblar en el cuerpo de la mandíbula en una zona limpia de objetos ajenos a la estructura (tubo de silicón, tornillos de fijación). Para conocer la zona ideal de ensamble, es necesario recurrir al cirujano para que dictamine cual es la sección de huso ideal para realizar la fijación, una vez seleccionada la zona, se marca una línea de corte, siendo esta el punto de ensamble con la prótesis a diseñar (figura 5). Es de suma importancia planear esta línea desde el diseño, ya que es un punto crítico al momento de la instalación de la prótesis, pues el cirujano debe reproducir el corte del maxilar exactamente en el mismo lugar, con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados.

El siguiente paso consiste en generar superficies a partir del archivo STL igualando la superficie del mismo, es así como se logra modificar la geometría sin perder las capacidades mecánicas que requiere la región mandibular, este proceso se realiza usando el programa de computo CATIA®. Para realizar tal propósito se crean planos en la zona deseada, específicamente en el lugar a regenerar, los cuales son usados para crear esbozos como es mostrado por la figura 5 en color blanco, que sirven como guías para generar una superficie de la rama y el cóndilo faltante.

El programa de cómputo contiene una herramienta llamada "Multi-Sections Surface", que se usa para interpolar una superficie tomando como base cada uno de los esbozos creados hasta obtener un solo elemento o producto final, siendo en este caso la prótesis; esta operación como muchas otras tiene la ventaja de poder modificarse después de haber sido ejecutada, por lo que se pueden quitar, alterar o agregar esbozos

hasta parametrizar el modelo, y llegar al mejor diseño que cumpla no solo con reconstruir la región, sino que además contenga criterios que ayuden a la parte estructural y estética como se muestra en la figura 6.



Figura 5. Creación de esbozos.

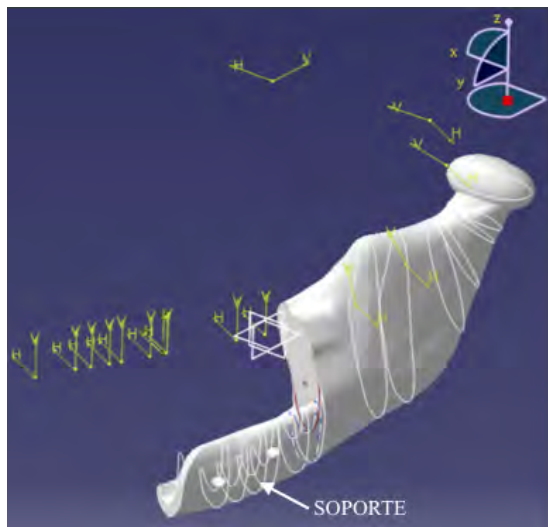


Figura 6. Reconstrucción de rama faltante.

El diseño final de la prótesis se ensambla virtualmente con el resto de la mandíbula (figura 7) [6], con el propósito de visualizar si existe alguna interferencia entre ambos modelos, pero de no existir algún inconveniente, se procede a exportar el archivo a un formato de estereolitografía para su impresión tridimensional.

Cualquier modelo digital con extensión “.stl” puede ser interpretado por una impresora tridimensional

para generar un modelo con características sólidas y palpables. La impresora utilizada para este propósito es de la marca Stratasys, modelo dimension sst 1200, la cual trabaja a base de dos materiales, de los cuales solo el de modelado se conserva, mientras que el otro se tiene que retirar, pues su única función es crear soporte y estabilidad al momento de inyectar el material de modelado, es decir, tiene que proporcionar el tiempo suficiente al material de modelado para que se solidifique sin deformarse.

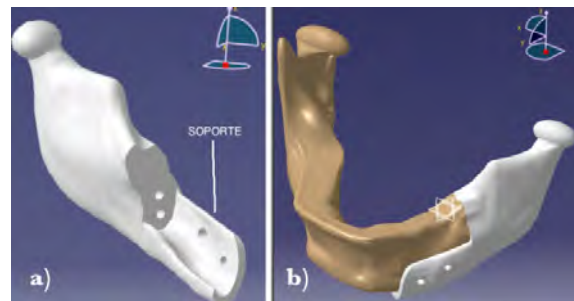


Figura 7. Diseño final de prótesis. a) Modelo virtual con soporte. b) Ensamble maxilar-prótesis.

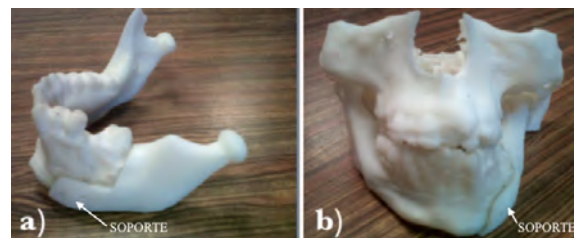


Figura 8. Impresión tridimensional. a) ensamble prótesis – mandíbula. b) ensamble prótesis – mandíbula – maxilar superior.

El soporte se retira sumergiendo la impresión en un contenedor de 30 litros de una mezcla de agua y peróxido de benzoilo, que se calienta y se hace recircular por medio de una bomba centrífuga que mantiene la solución en movimiento; no existe un tiempo estimado para la realización de este proceso de separación, ya que influyen muchos factores como lo son: el tamaño del modelo, la complejidad de la geometría y la cantidad de material de soporte, pero al finalizar se tendrá una pieza libre de este material como es mostrado por la figura 8, la cual se encuentra dividida en dos secciones y aunque ambas describen un ensamble, en la sección “a” se distingue de manera lateral el ensamble de la prótesis con el maxilar inferior, mientras que en la sección “b” se tiene una vista frontal que permite observar no solo el ensamble

prótesis-maxilar inferior-maxilar superior, sino también el grado estético de reconstrucción alcanzado, pues se observa una continuidad en el maxilar reconstruido que va desde el mentón hasta el cóndilo, ensamblando a la perfección con la pequeña fosa condilar que el paciente tiene desarrollada.

3. Resultados

La regeneración de la rama faltante que conecta al cóndilo existente con el cuerpo mandibular sano, es alcanzado con las técnicas de diseño presentadas en este trabajo, lo que permitirá la apertura de la boca del paciente cuando la prótesis sea instalada, algo que no podía llevarse a cabo, debido a que solo se contaba con un punto de rotación entre el cóndilo derecho y la fosa condilar correspondiente, afectando su estabilidad, ya que para llevarse a cabo una correcta apertura y cierre de la boca al momento de la masticación, se necesitan de los dos puntos de apoyo o rotación proporcionados por el par de cóndilos del maxilar y sus respectivas fosas.

Por otro lado, la estética alcanzada en el diseño de la prótesis es significativa como se muestra en la figura 8, y juega un rol muy importante cuando se requiere una correcta integración del paciente a la sociedad mejorando su calidad de vida, ya que su reintegración a la misma, está relacionada con el grado de satisfacción alcanzada en su rehabilitación [7], siendo conseguida con un equipo multidisciplinario especializado en el área quirúrgica y personal protésico, en otras palabras, el tratamiento requiere la cooperación entre los tratantes del daño y los responsables por el cuidado emocional del paciente [8].

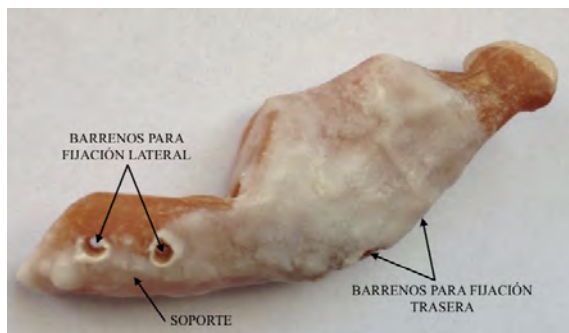


Figura 9. Prótesis final.

Para este caso en particular, la manufactura de la prótesis se realiza por medio de un material compuesto a base de resina isoftálica, hueso, hidroxapatita y acero inoxidable como refuerzo; materiales que son

inyectados a un molde previamente generado tomando como base el modelo de prótesis impreso mostrado por la figura 8, hasta obtener el producto final mostrado por la figura 9, en la cual se distinguen dos pares de barrenos, uno de manera lateral y otro adicional en la parte trasera, que permiten una fijación de manera cruzada para obtener mayor estabilidad, evitando que se mueva o afloje la prótesis con el paso del tiempo.

El elemento sobresaliente de la rama de la prótesis mostrado en las figuras 6, 7, 8 y 9 con el nombre de "soporte" tiene un espesor promedio de 3 mm y cumple con las siguientes funciones:

- Proporciona apoyo estructural extra a la prótesis de la rama modelada.
- Aporta mayor estabilidad una vez montada en la mandíbula, ya que se amolda completamente a la misma abrazándola.
- Contiene barrenos para tornillos laterales, proporcionando una serie de puntos para una mejor fijación.

4. Conclusiones

La evolución de la tecnología ha traído como consecuencia una revolución en la solución de problemas médicos complejos, dando buenas propuestas a los mismos de manera más ágil comparadas con situaciones que en años anteriores podían llevar demasiado tiempo para su desarrollo; tal es el caso de las interfaces existentes entre el campo de la medicina y la ingeniería, con lo cual se hace más fácil interpretar el estado real del paciente, sus traumas y sus posibles soluciones, empleando programas computacionales especializados en el diseño, manipulación de archivos e impresiones tridimensionales [9-18].

La presente metodología es un camino viable cuando se trata de diseñar y manufacturar prótesis maxilofaciales personalizadas que involucran desfiguraciones faciales como resultado de deformaciones congénitas de resecciones quirúrgicas de tumores, traumas o alguna combinación de estas, ya que independientemente de la complejidad de los daños presentados en el paciente, el tiempo empleado desde la tomografía hasta la obtención de la solución final es muy corto, si se cuentan con los materiales y la tecnología apropiada. Además se toma en consideración al mismo tiempo el criterio médico y el conocimiento ingenieril, dando como resultado una prótesis apropiada para el paciente elevando su calidad de vida.

Lo que trata de evitar la presente metodología es el uso

de las técnicas de reconstrucción ósea más comunes que consisten en injertos de hueso, conocidos como autoinjertos, aloinjertos y xenoinjertos, dependiendo de su fuente de extracción, ya que existen limitantes para su uso, pues se tiene que hallar el tamaño de hueso idóneo que debe cumplir con características similares a la región que va a sustituir, y aunado a esto, si se extrae del propio cuerpo del paciente (autoinjerto) implica una zona más de cuidados y dolor; además, si se usan materiales artificiales biocompatibles como algunos metales, cerámicos o polímeros, por lo regular pueden encontrarse para uso médico en placas o barras bajo ciertas medidas estandarizadas, y es trabajo del cirujano doblarlas o manipularlas hasta que se adapten a la región planteada, pero por lo regular solo cumplen con la función de sujetar o estabilizar la zona y no son estéticas. Por otro lado, la propuesta planteada, involucra la morfología del paciente desde el diseño, lo que implica un correcto ensamble y un producto final estético, de fácil instalación, planteando el uso de materiales biocompatibles que son mezclados hasta llegar a un producto final que es manufacturado por moldeo, resultando en una intervención más rápida y menos invasiva para el paciente.

Referencias

- [1] G. Raspall, *Cirugía maxilofacial*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2002.
- [2] P. Moreno, "Diseño y manufactura de una prótesis de maxilar inferior para pacientes con anquilosis temporomandibular lateral," Master's thesis, Instituto Politécnico Nacional., 2014. Tesis de Maestría.
- [3] J. Eslava Schumalbach, Ó. Guervara Cruz, and P. Gómez Cusmir, *Semiología quirúrgica*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006.
- [4] E. Mad, *Manual de fisioterapia traumatología, afecciones cardiovasculares y otros campos de actuación*. España.
- [5] D. N. Corbo, "Tomografía axial computada." Obtenida el 30 de enero del 2013, de: <http://www.nib.fmed.edu.uy/corbo.pdf>, 2004.
- [6] P. M. Garibaldi, J. A. Beltrán Fernández, F. López Saucedo, L. H. Hernández Gómez, and N. Corro Valdez, "Reconstrucción de cuerpo de rama mandibular a través de modelado tridimensional," *Journal de Ciencia e Ingeniería*, vol. 6, no. 1, pp. 40–46, 2014.
- [7] M. C. Goiato, A. A. Pesqueira, C. R. da Silva, H. Gennari Filho, and D. M. dos Santos, "Patient satisfaction with maxillofacial prosthesis," *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, vol. 62, no. 2, pp. 175–180, 2008.
- [8] M.-S. Chen, A. Udagama, and J. B. Drane, "Evaluation of facial prostheses for head and neck cancer patients," *The Journal of prosthetic dentistry*, vol. 46, pp. 538–544, 1981.
- [9] N. Camacho-Tapia, J. A. Beltrán-Fernández, M. G.-R.-y. González, L. H. Hernández-Gómez, P. Moreno-Garibaldi, G. Urriolagoitia-Calderón, and D. López-Liévano, "Numerical study in biomodels of maxillofacial prosthesis (cancer and osteonecrosis cases)," in *Design and Computation of Modern Engineering Materials*, pp. 59–72, Springer, 2014.
- [10] E. Romo-Escalante, "Manufactura de prótesis parcial de maxilar inferior para paciente con anquilosis temporomaxilar y malformaciones de rama," tech. rep., Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Ciudad de México, 2012.
- [11] J. A. Beltrán Fernández, L. H. Hernández Gómez, E. Ruiz Muñoz, A. González Rebatú, R. G. Rodríguez Cañizo, G. Urriolagoitia Calderón, G. Urriolagoitia Sosa, and H. Hernández Moreno, "Biomechanical evaluation of corporectomy in porcine lumbar specimens using flexible polymer belts," *J Phys Conf Ser.*, 2009. doi:10.1088/1742-6596/181/1/012015.
- [12] L. H. Hernández Gómez, G. Urriolagoitia Calderon, A. González Rebatú, G. Urriolagoitia Sosa, M. M. Galán Vera, and E. Escalante Rodríguez, "Assessment of the structural integrity of c3—c5 cervical porcine vertebrae model based on 2-d classic cad, 3-d scanner and 3-d computed tomography," in *Analysis and Design of Biological Materials and Structures*, vol. 10–20, Berlin: Springer, 2010. ISBN: 978-3-642-22130-9.
- [13] J. A. Beltrán Fernández, M. G. R. y González, L. H. Hernández-Gómez, A. G. R. y González, and G. U. Calderón, "Biomechanical prosthesis design of an orbicular cranial cavity," in *Advances in Bio-Mechanical Systems and Materials*, vol. 40, Berlin: Springer, 2013. ISBN: 978-3-319-00478-5. DOI 10.1007/978-3-319-00479-2-7.
- [14] J. A. Beltrán Fernández, E. Romo Escalante, F. López Saucedo, P. Moreno Garibaldi, L. H. Hernández Gómez, G. Urriolagoitia Calderón, and N. Camacho Tapia, *Biomechanical assembled prosthesis of a temporo mandibular joint disorder using biocompatible materials*, ch. 4, pp. 135–146. Springer International Publishing, 2014.
- [15] CIS, "Superficies y alambres." Obtenida el 30 de Enero del 2013, <http://www.manualespdf.es/manual-catia-4-superficies-avanzadas/>, 2013.
- [16] J. A. Beltrán-Fernández, *Análisis Numérico de las Cervicales C3–C7 Asociado al Problema del Latigazo Cervical*. PhD thesis, Instituto Politécnico Nacional, 2007. Tesis de Doctorado.
- [17] Y. Espinal Gutierrez, "Evaluación biomecánica de la integridad estructural en dientes molares," Master's thesis, Instituto Politécnico Nacional, 2011. Tesis de Maestría.
- [18] L. M. Valverde, "Diseño y optimización de un espaciador interespinoso para el tratamiento de artrosis facetaria," Master's thesis, Instituto Politécnico Nacional, 2013. Tesis de Maestría.