

SIMULACION POR FEM DE HUESO TRABECULAR Y ECUACION DE CAHN-HILLIARD ADVECCION PARA DISEÑO Y PROCESAMIENTO DE ANDAMIOS PARA REGENERACION OSEA

Edwyn Hernández Flores^a, Ricardo Agustín Serrano^b, José Isrrael Rodríguez Mora^c, Marco Antonio Morales Sánchez^a

^aFacultad de Ingeniería Química, ^bFacultad de Ciencias Físico Matemáticas, ^cFacultad de Ingeniería
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA, Av. San claudio, Col. Jardines de San Manuel,
Puebla, Pue. C.P. 72570



RESUMEN

En el presente proyecto se plantea el uso de un modelo matemático para poder realizar la simulación computacional de la fase trabecular ósea para después aplicarle el método de elemento finito y poder observar y analizar el comportamiento y las propiedades mecánicas que presenta la fase simulada para así poder comparar los resultados obtenidos de la policaprolactona y el hueso esponjoso y finalmente obtener un andamio mediante la técnica de impresión 3D usado en los procesos de regeneración ósea.

INTRODUCCION

- La mecánica y la ciencia de materiales estudian los efectos y la relación entre las fuerzas aplicadas sobre una estructura o cuerpo rígido y la deformación producida.
- La complejidad mecánica del tejido óseo, compuesto de hueso cortical y hueso trabecular, ambos con comportamientos mecánicos distintos, supera la de la mayoría de los materiales utilizados en ingeniería
- Se pretende presentar una revisión del funcionamiento de la mecánica de materiales que resultan clave para comprender cualquier determinación o estimación de la resistencia biomecánica del hueso. Adaptar la estructura trabecular a un ambiente mecánico puede atribuir a la formación de hueso y el proceso de resorción llamado remodelado.
- Varios experimentos revelan que los factores mecánicos influyen directamente en el remodelamiento de la fase trabecular a varias escalas, desde el hueso entero, hasta las células Oseas.
- La biomimética es la rama de la ciencia que dedica a imitar el comportamiento de un sistema biológico para una mejora en la vida cotidiana, y emplea otras áreas científicas como la Física, Química, Biología, Ciencia de Materiales, etc.

OBJETIVOS

- Simular la regeneración ósea a partir de un modelo matemático.
- Diseñar una metodología para obtener un andamio usado en regeneración ósea.
- Utilizar FEM para analizar el comportamiento mecánico del hueso esponjoso y la PCL.

METODOLOGIA DMC-MAI3D

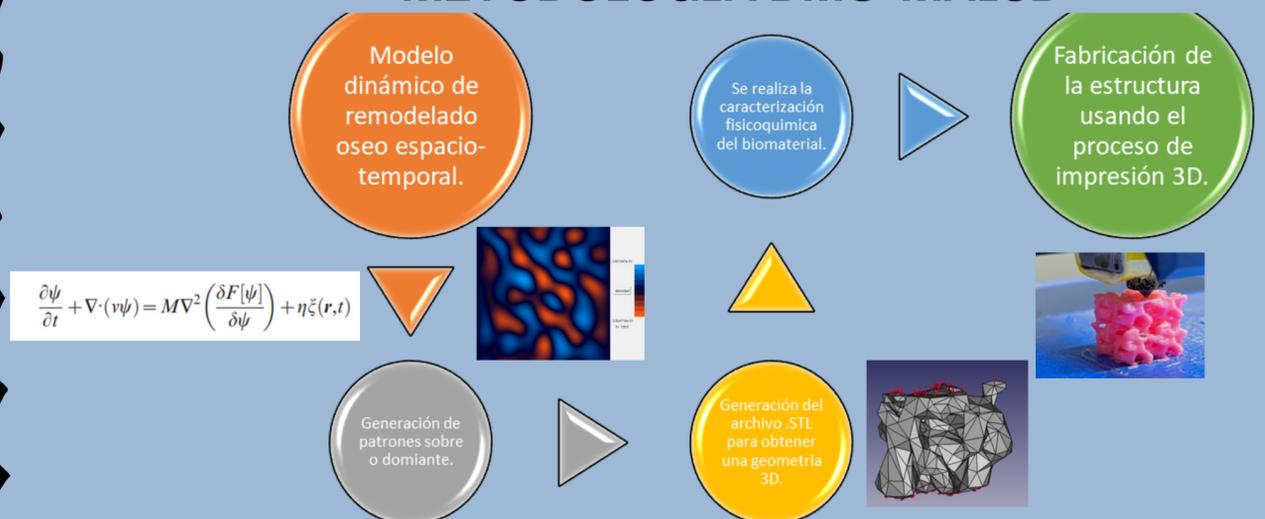


Diagrama 1: Proceso para diseñar un andamio 3D

RESULTADOS

- El aspecto mecánico del hueso trabecular humano es completamente 3D debido a las trabéculas, las cargas externas aplicadas de igual manera son 3D.
- Para poder observar el comportamiento del hueso trabecular ante una fuerza de tensión, se usó el software Free CAD y se realizaron 6 pruebas experimentales de simulación, variando la carga de 100 a 800 N en intervalos de 100, pero además se varió el material que presentaba la estructura.
- Las gráficas de esfuerzo vs deformación muestran la propiedad de anisotropía de la solución numérica del modelo matemático, la cual es una característica principal del hueso trabecular humano.
- Una vez obtenidas las gráficas de esfuerzo vs deformación y comprobar la hipótesis del comportamiento similar de ambos materiales, se procede a realizar el diseño computacional para poder realizar el proceso de Impresión 3D.

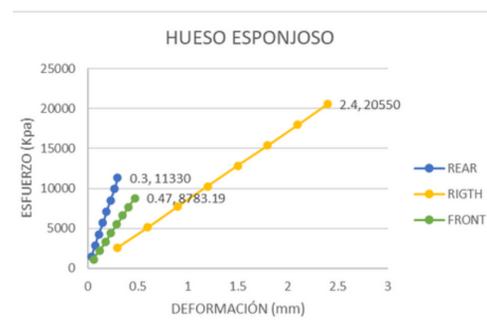


Fig. 1: Gráfica Esfuerzo vs Deformación para una fase trabecular de Hueso esponjoso.

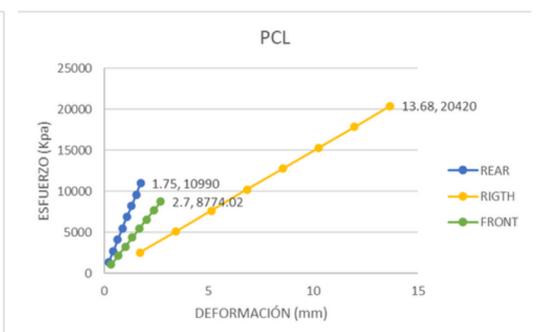


Fig. 2: Gráfica Esfuerzo vs Deformación para un andamio polimérico compuesto de Policaprolactona.

CONCLUSION

- El modelado computacional permite realizar miles de experimentos simulados por computadora ahorrando tiempo, esfuerzo y recursos económicos.
- Los valores de deformación de ambos materiales son similares, por lo que podemos decir que la PCL tiene propiedades similares a las del hueso trabecular humano.
- Con este tipo de análisis podemos deducir en que zonas del hueso o implante no se producirán remodelaciones significativas a causa de la aplicación de una carga determinada.
- El material que se generó se obtuvo a partir de la imitación de la estructura trabecular para simular el hueso (**biomimetismo**).
- La simulación computacional realizada del diseño propuesto tiene potencial aplicación como biomaterial con estructura trabecular para el proceso de regeneración ósea.
- Se propone una nueva metodología de fabricación de biomateriales para regeneración ósea nombrada: **Diseño Matemático-Computacional y Manufactura Asistida por Impresión 3D (DMC-MAI3D)**.

BIBLIOGRAFIA

- Pinna M, Zvelindovsky A. (2007). Kinetic pathways of gyroid-to-cylinder transitions in diblock copolymers under external fields: cell dynamics simulation. Pp 1-10.
- Boyle C, Kim Y. (2010). Three-dimensional micro-level computational study of woff's law via trabecular bone remodeling in the human proximal femur using desing space topology optimization. Journal of Biomechanics 44. Pp 935-942.
- Adachi, T., Osako, Y., Tanaka, M., Hojo, M., Hollister, S.J., 2006. Framework for optimal design of porous scaffold microstructure by computational simulation of bone regeneration. Biomaterials 27, 3964-3972.
- Tsubota K, Suzuki Y, Yamada T. (2009). Computer simulation of trabecular remodeling in human proximal femur using large-scale voxel FE models: Approach to understanding Wolff's law. Journal of Biomechanics No. 42. Pp 1-7.
- Gallegos E, Medellin H, Lange D. (2013). Análisis del desempeño estructural de andamios de hidroxiapatita utilizados en ingeniería tisular. Ingeniería Mecánica Tecnológica y Desarrollo. Vol. 4 No. 5. Pp 185-194.
- Cepeda A, Vera R, Muñoz E. (2019). Preparación y caracterización de membranas poliméricas electrohiladas de policaprolactona y quitosano para la liberación controlada de clorhidrato de tiamina. Ciencia en desarrollo. Vol. 7 No. 2. Pp 4-19.
- Wu D, Spanou A, Diez A. (2020). 3D-printed PLA/HA composite structures as synthetic trabecular bone: A feasibility study using fused deposition modeling. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials 103. Pp 1-10.
- Herrera L. (2017). MODIFICACION SUPERFICIAL DE ANDAMIOS ELECTROHILADOS DE POLICAPROLACTONA MEDIANTE PLASMA DE AIRE PARA SU USO POTENCIAL EN INGENIERIA DE TEJIDOS. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Pp 6-80.
- Guede D, Gonzales P, Caeiro J. Biomecánica y hueso (1): conceptos básicos y ensayos mecánicos clásicos. (2013). Revista de osteoporosis y metabolismo mineral. Pp. 1-10.
- Botello M, Bosch A. (2013). Empleo de elementos finitos en un estudio comparativo de dos sistemas de fijación interna para la fractura de cadera. Revista cubana de ortopedia y traumatología Vol. 27 No 2. Pp 1-15.
- Villanueva J. (2019). FABRICACION Y CARACTERIZACION DE MEMBRANAS NANOESTRUCTURADAS DE POLICAPROLACTONA, NANOHIPOXIAPATITA Y HUMULU LUPULUS L, CON POTENCIAL APLICACION EN REGENERACION OSEA.