

# **Simulación por elementos finitos y validación de un modelo virtual de la columna lumbar humana**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico

Autor:

**Javier Antonio, Falcón Cisneros**

**Lima – Perú 2008**



<b>Prólogo .</b>	<b>1</b>
<b>Introducción .</b>	<b>3</b>
<b>Nota de Acceso . .</b>	<b>5</b>



# Prólogo

Miles de años han transcurrido desde que empezó la evolución del hombre, y este, siempre en busca de su bienestar, fue desarrollando métodos y tecnologías que lo llevaron a diseñar e implementar procedimientos para la mejora de su salud. Con el avance de la tecnología, estos procedimientos han ido evolucionando a sistemas cada vez mas complejos que implican no solo un diseño mecánico, sino también electrónico. Actualmente, la ingeniería apunta a desarrollar prótesis inteligentes con materiales inteligentes que cambien sus propiedades dependiendo de la condición en la que se encuentre y que impliquen un control inteligente. Pero para llegar a este punto es necesario aún mucho trabajo. La tecnología también nos ha permitido simular cualquier sistema antes de ser siquiera manufacturado para poder evaluar sus características y realizar las correcciones necesarias, todo eso, de manera virtual.

El punto de partida del presente trabajo es el creciente mercado de prótesis biomecátricas y todo lo que esto conlleva. El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo virtual que sirva como herramienta para continuar con las investigaciones concernientes al desarrollo de prótesis, entre otras aplicaciones.

El trabajo está organizado en 5 capítulos más conclusiones y recomendaciones.

En el capítulo 1 se presenta el problema además del alcance y limitaciones de este trabajo.

En el capítulo 2 se expone el marco teórico y se da a conocer los principales conceptos y terminología utilizada. La anatomía y la biomecánica de la columna vertebral

son explicadas a detalle. Además, se hace un breve repaso del método de los elementos finitos para luego resumir los principales trabajos desarrollados y el estado del arte en el campo de la ingeniería biomédica por el método de los elementos finitos.

En el capítulo 3 se muestra todo el desarrollo del modelo planteado para su posterior simulación además de especificar los parámetros y criterios utilizados para dichas simulaciones.

En el capítulo 4 se muestran los gráficos y resultados obtenidos, luego de las pruebas de simulación. Estos resultados son luego comparados con pruebas experimentales para la validación del modelo desarrollado.

En el capítulo 5 se explica la incidencia de esta tesis en la ingeniería mecatrónica. Métodos de adquisición de datos y desarrollo de máquinas mecatrónicas para las pruebas in Vitro y en vivo, además del desarrollo de prótesis inteligentes son temas abordados en este capítulo.

Finalmente, las conclusiones obtenidas en este trabajo y las recomendaciones propuestas para futuros trabajos son listadas.

Quisiera terminar este prólogo, no sin antes agradecer a mis padres, Sergio y Celmira, y hermanos que sin su incalculable apoyo no hubiera sido posible concluir este trabajo. Agradezco al Ing. José Oviden Martínez, mi asesor principal y amigo, por todo su tiempo y dedicación en la revisión de esta tesis y sus valiosos consejos tanto a nivel profesional como personal. Finalmente, mi eterna admiración y gratitud al departamento de Ingeniería Mecánica del Centro de Investigación EMPA, en Zurich, Suiza, institución en donde se desarrollo esta tesis, y al programa y amigos de IAESTE que gracias a ellos pude pasar maravillosos momentos allá en Europa.

# Introducción

La biomecánica es la ciencia que estudia las fuerzas internas y externas y su incidencia sobre el cuerpo humano. Mientras que la anatomía nos muestra las formas de una estructura en reposo y en un momento dado, la biomecánica nos permite comprender los efectos que ocasionan las fuerzas sobre estas estructuras.

La columna vertebral humana es una estructura mecánica experimentada durante la evolución y adaptada a la bipedestación que combina la rigidez de las vértebras y la elasticidad de los discos. Esta singular combinación le permite soportar importantes presiones y al mismo tiempo tener una amplia movilidad controlada. Una unidad funcional de la columna vertebral (FSU por sus siglas en inglés) es la mínima unidad de movimiento fisiológico de la columna vertebral y consiste de 2 vértebras adyacentes, el disco intervertebral y todos los ligamentos comprendidos entre ellos. Los ligamentos ayudan a estabilizar la columna y la protegen contra movimientos excesivos. Los discos intervertebrales son colchones fibrocartilaginosos que sirven como un sistema de absorción de impacto, que permiten doblar el torso y proteger el músculo-esqueleto y el sistema nervioso (cerebro, médula espinal, etc.). La columna vertebral está compuesta por una serie de unidades funcionales (FSU) conectadas entre sí. Específicamente, la zona lumbar está compuesta por 4 unidades funcionales.

Modelar la columna vertebral es una tarea complicada no sólo porque la estructura intrínseca de una estructura biológica humana es compleja, sino también porque la información acerca de las propiedades de los materiales es limitada. Más aún, la anatomía es compleja y su influencia en la respuesta es considerable por lo que la

geometría del modelo debe ser muy precisa.

La validación es un paso crítico en un análisis por elementos finitos porque la confiabilidad de un modelo dependerá de esta. Un modelo por elementos finitos validado insuficientemente sugiere una falsa estimación en la respuesta. Trabajos anteriores han validado sus modelos en un solo punto en la curva de respuesta momento-rotación de la columna vertebral ignorando el comportamiento no lineal de ésta. Para validar mejor un modelo es necesario considerar todo el rango de respuesta de la curva momento-rotación. En este trabajo, no sólo se considera la característica no lineal de la respuesta del sistema, sino también el proceso de validación empieza en un estado reducido, separando las estructuras de la columna vertebral para luego ser añadidas y validadas paso a paso, permitiendo así analizar las propiedades de cada estructura y su influencia.

El objetivo de esta tesis es desarrollar y validar un modelo por elementos finitos de la columna lumbar humana que sirva como una herramienta para futuros proyectos como simular el comportamiento de la columna vertebral para obtener información que no es accesible a través de la experimentación, asistir en el diseño y desarrollo de prótesis, evaluar y comparar a la columna lumbar tanto en estado saludable como alterado por enfermedad, degeneración, desgaste, trauma y cirugía, analizar el centro de rotación entre 2 vértebras, evaluar las fuerzas en las articulaciones facetarias y ligamentos, entre muchas otras opciones.



## Nota de Acceso

Si desea consultar esta tesis, por favor, sírvase enviar un correo a [oceb@uni.edu.pe](mailto:oceb@uni.edu.pe) .  
Apenas tengamos una respuesta del autor, nos pondremos en contacto con usted.