



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
Instituto de Ingeniería Biológica y Médica
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica
IBM2020 Introducción a la Biomecánica
Primer Semestre 2023

Tarea 5

Fecha de entrega: 9 de junio, 2023, 23:59.

Todos los desarrollos teóricos y códigos computacionales deben ser elaborados en forma individual. Cualquier uso de fuentes o herramientas externas al curso deben ser citadas correctamente. El desarrollo final **debe** ser escrito por usted. Los conceptos generales de los problemas pueden ser discutidos, pero las soluciones no deben ser comparadas. El informe debe contener todos los desarrollos teóricos, resultados numéricos, figuras y explicaciones pedidas para la tarea. Se considerará como parte de la evaluación de la tarea la correcta diagramación, redacción y presentación del informe, pudiendo descontarse hasta 2 puntos por este concepto. Esta tarea se rige bajo la política de atrasos del curso explicada en Canvas.

Todos los códigos deben ser desarrollados en Python y documentados en un Jupyter Notebook. Si necesita, puede también generar librerías auxiliares en formato `.py`. La entrega del informe es de forma electrónica mediante la plataforma Canvas. Se pedirá el informe en formato PDF con el título `tarea_01_apellido_nombre.pdf`. Además, se deberá subir cualquier archivo de código a la misma plataforma. **Incluya en su informe el número de horas dedicadas a esta tarea.**

Bonus: Si la nota final de su tarea es $> 5,5$ y usted entrega su tarea escrita en \LaTeX usando el template del curso, y además entrega el archivo `.tex` y las figuras utilizadas, se abonarán 0,5 puntos a la nota final de la tarea.

Problema 1: Para este problema va a necesitar usar el software abierto FEBio. Si no lo ha hecho, descárguelo. Contacte al equipo docente si tiene problemas con esto.

El ligamento cruzado anterior (ACL, por sus siglas en inglés) es un tejido conectivo estructural de la rodilla que muy frecuentemente se lesiona en actividades deportivas intensas. En esta pregunta usaremos métodos numéricos para simular el traccionamiento de un ACL y estudiar su comportamiento.

- i) Lea detenidamente el artículo de Peña *et al.*, 2006, publicado en Canvas. Ponga especial atención al modelo constitutivo desarrollado (ecuaciones uno y dos) y los parámetros ajustados (tabla 1) para el caso del ACL.
- ii) En Canvas encontrará un archivo llamado `ACL.fs2`. Este es un archivo de FEBio que contiene una geometría de ACL y materiales asignados a distintos lugares de su geometría.
 - Considere la parte del material *transversely isotropic Mooney-Rivlin*. Verifique que los parámetros sean aquellos reportados en el artículo.
 - Aplique una condición de borde de empotramiento (en direcciones x, y, z) en el extremo inferior del ACL.
 - Aplique, de manera incremental, una deformación preescrita de 3,6 mm sobre los puntos de la malla mostrados en la Figura 1.

A partir de lo anterior, se pide entregar:

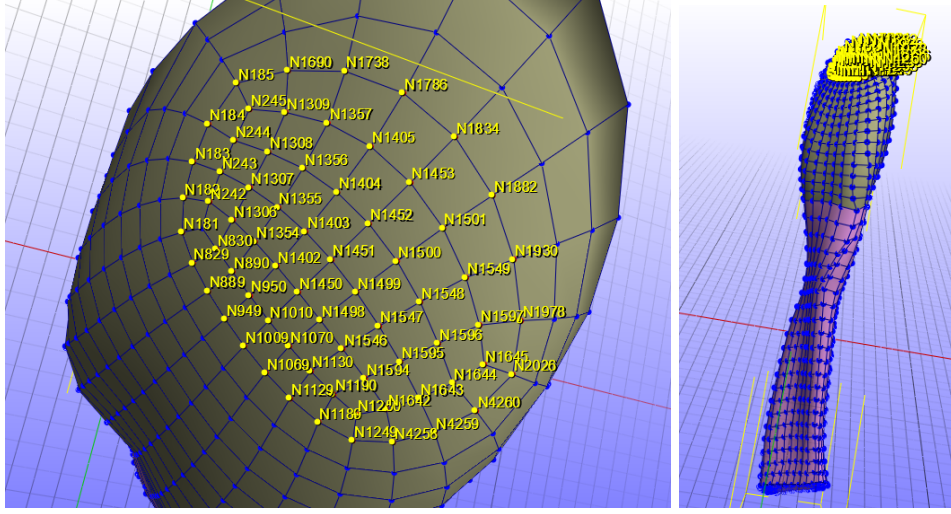


Figura 1: Puntos de la malla a los cuales se les aplica desplazamiento preescrito

- Un gráfico de fuerza contra desplazamiento. Para calcular la fuerza, integre las tensiones de reacción en los nodos en los que se impone el desplazamiento.
- Un gráfico del campo de tensiones máximas (y mínimas) y el campo vectorial de direcciones principales asociadas al final del ensayo.
- Un gráfico del campo de deformaciones lagrangeana máximo (y mínimo) y el campo vectorial de direcciones principales asociadas, al final del ensayo.
- Entregar una animación que muestre cómo el tejido se deforma a medida que se aumenta el desplazamiento vertical.

Problema 2: En la pregunta pasada aplicamos resolución numérica de EDPs para problemas de biomecánica. En esta pregunta resolveremos numéricamente una EDO para simulación biomecánica.

Ya no hay para qué hablar de la importancia de la ventilación mecánica para tratar enfermedades respiratorias graves. Considere la ecuación de movimiento que simula el comportamiento de un pulmón conectado a un ventilador mecánico

$$P_{MV}(t) - P_{PEEP} = \frac{V(t)}{C_{rs}} + R_{aw}\dot{V}(t), \quad (1)$$

donde $V : \mathbb{R}_0^+ \rightarrow \mathbb{R}$ es el volumen pulmonar, $\dot{V} = \frac{dV}{dt}$ es el flujo, $P_{MV} : \mathbb{R}_0^+ \rightarrow \mathbb{R}$ es la presión aplicada por el ventilador mecánico, P_{PEEP} es la presión positiva al fin de expiración que ejerce el ventilador, C_{rs} es la *compliance* pulmonar y R_{aw} es la resistencia de la vía aérea. Bajo un modo de *presión control*, los médicos imponen la presión positiva que fuerza aire dentro de los pulmones (muchas veces generando daño, un precio a pagar por mantener al paciente con vida). La presión del ventilador se comporta típicamente como una onda cuadrada. Esta puede ser expresada como

$$P_{MV}(t) = \begin{cases} P_{peak} & t \text{ mód } \frac{1}{RR} < IT \\ P_{PEEP} & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (2)$$

donde RR es la frecuencia respiratoria, IT es el tiempo inspiratorio y P_{peak} es la presión *peak* inspiratoria.

- Simule el caso de 5 ciclos respiratorios de ventilación mecánica de un paciente bajo el modo presión control. Para lo anterior, resuelva numéricamente la ecuación 1 considerando los valores de los parámetros del modelo expuestos en la tabla 1. Entregue un gráfico con tres subfiguras verticales que muestren $P(t)$, $\dot{V}(t)$ y $V(t)$ (presión, flujo y volumen respiratorio). Note que bpm significa respiraciones por minuto (*breaths per minute*).

Parámetro	Valor en pulmones sanos
C_{rs}	0,5 L/cmH ₂ O
R_{aw}	2 cmH ₂ O s/L
P_{PEEP}	5 cmH ₂ O
P_{peak}	10 cmH ₂ O
IT	3 s
RR	10 bpm

Cuadro 1: Parámetros de respiración sana

- ii) Repita i) pero considerando los siguientes valores asociados al síndrome de dificultad respiratoria aguda (ARDS) y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD) expuestos en la tabla 2.

Parámetro	Valor en ARDS	Valor en COPD
C_{rs}	0,35 L/cmH ₂ O	0,65 L/cmH ₂ O
R_{aw}	1,2 cmH ₂ O s/L	2,5 cmH ₂ O s/L
P_{PEEP}	5 cmH ₂ O	5 cmH ₂ O
P_{peak}	10 cmH ₂ O	10 cmH ₂ O
IT	3 s	3 s
RR	10 bpm	10 bpm

Cuadro 2: Parámetros de respiración en condición patológica

- iii) Para cada caso (sano, ARDS y COPD) calcule los indicadores clínicos volumen minuto V_m (volumen inhalado o exhalado en un minuto), volumen corriente o tidal y constante de tiempo $RC = R_{aw}C_{rs}$. Comente sus resultados.