Valencia 2010

Caracterización y diseño de metodología de predicción de fallo mecánico en huesos sanos y osteoporóticos mediante el método de análisis de elementos finitos (MEF)

AUTOR: SAID ANTONIO REZC GUTIÉRREZ

DIRECTOR: SANTIAGO FERRÁNDIZ BOU

INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Esquema de la intervención

* Justificación
* Objetivo
* Estado del arte
* Metodología
* Resultados
* Conclusión
* Trabajo a futuro

Justificación

Justificación

* La osteoporosis es una enfermedad que presenta deterioro del hueso en microarquitectura y masa ósea
* Riesgo de fractura aumenta exponencialmente con la edad
* 20% pacientes con fractura de cadera fallece en los 6 primeros meses
* Requieren cuidados especiales
* España 3.5 millones afectados con 100000 fracturas osteoporóticas
* $60 billones de USD en Estados Unidos

Objetivo

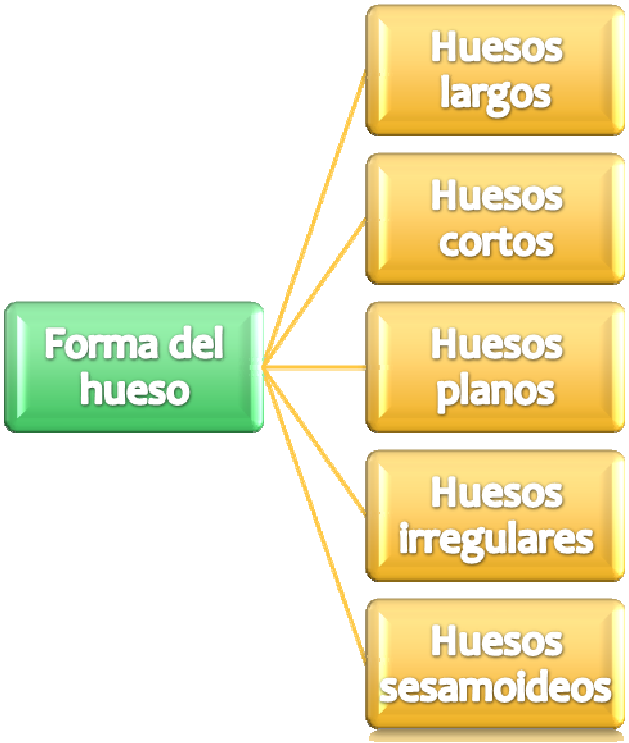
Objetivo

* Realizar una metodología para determinar puntos críticos del hueso en un ensayo de compresión, a partir de un archivo de CT, para un hueso sano o osteoporótico, por el método de elementos finitos.

Estado del arte

Hueso

* Tipo de tejido conjuntivo especializado
  * Sostén
  * Hematopoyesis
  * Almacenaje Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y más
  * Muscular
  * Base mecánica para el movimiento



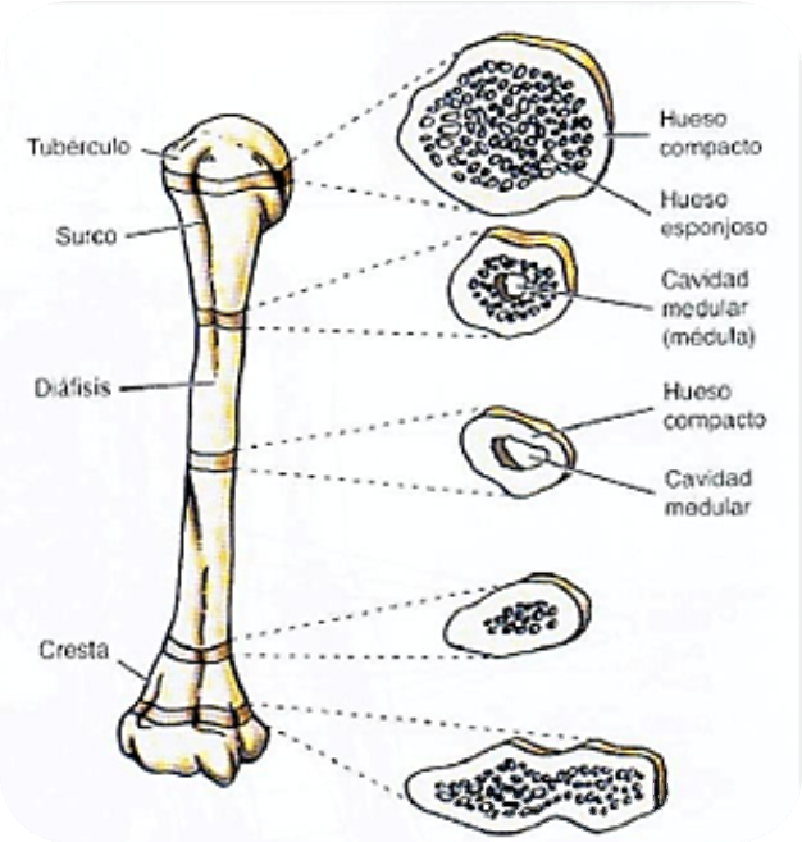
Hueso

Compacto

- Laminillas mineralizadas
- Denso

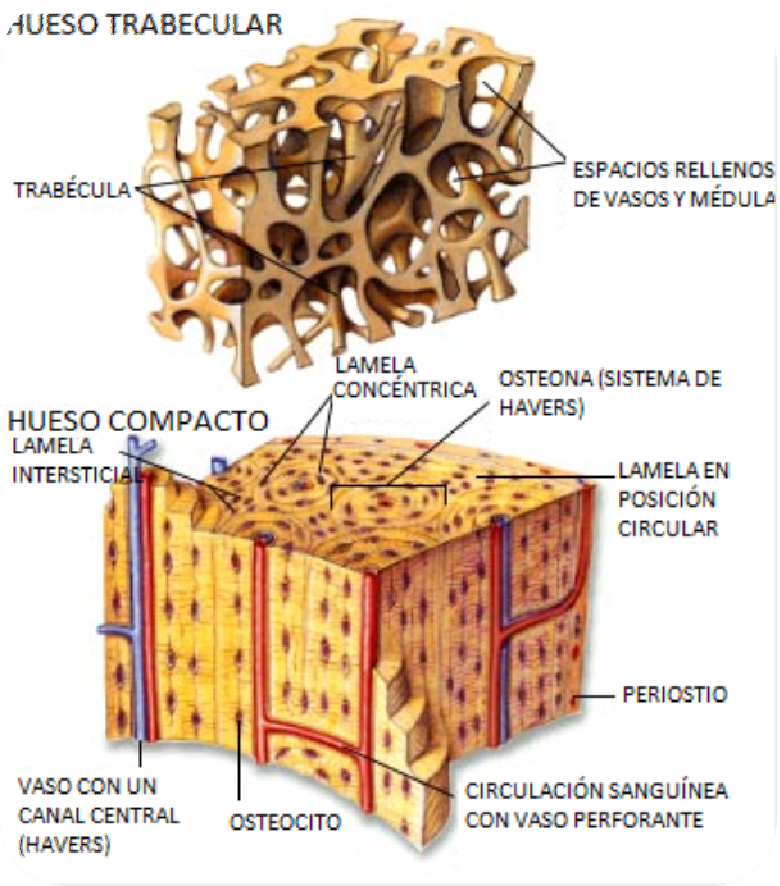
Esponjoso

- Trabéculas óseas paralelas
- Poroso



Hueso

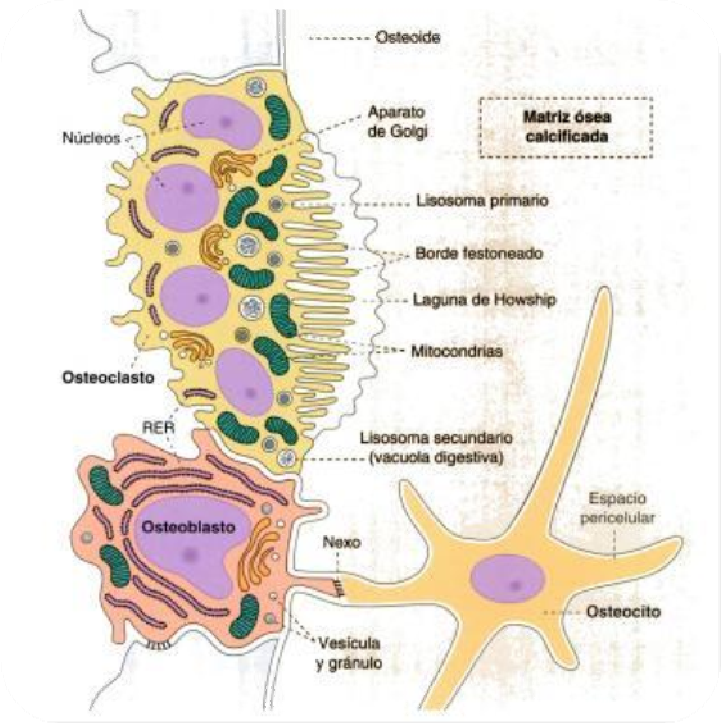
- Láminas paralelas
  - Unidad estructural: Sistema de Havers >> osteocitos
- Orgánica
  - Fibras de colágeno I
  - Osteopontina, osteonectina, sialoproteína, osteocalcina…
  - → GF, Somatomedinas y D_3
- Mineral
  - Cristales fosfato de calcio (70%)
  - 40nm largo – 1.5nm ancho



Hueso

Células óseas

- Células osteoprogenitoras
- Células de revestimiento
- Osteoblastos
- Osteocitos
- Osteoclastos



INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Hueso

Células osteoprogenitoras

* Reposo
* Osteogénesis
* Células madre mesenquimáticas de la médula ósea
* Factor fijador central α_1

Células de revestimiento

* 80% de superficies endocorticales
* Unión tipo *gap*
* Se cree que es el destino final del osteoblasto

Hueso

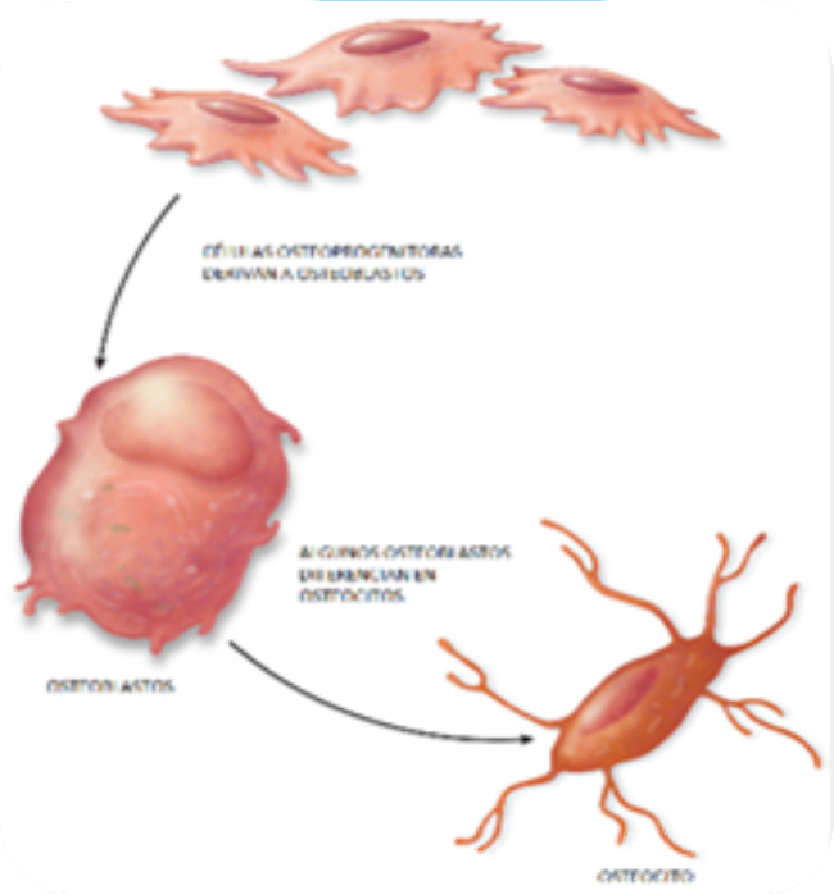
Osteoblastos

* Células osteoprogenitoras
* Receptores para PTH
* Osteoide, secretan colágeno tipo I (proteoglucanos, hialuronano y proteínas específicas) y citoquinas (CSF, IL-6, IL-1, GM-CSF, IGF, RANK)
* Proceso de calcificación y mineralización >> vesículas matriciales
* Degradación ósea >> matriz ósea
* Osteocitos

Hueso

Osteocito

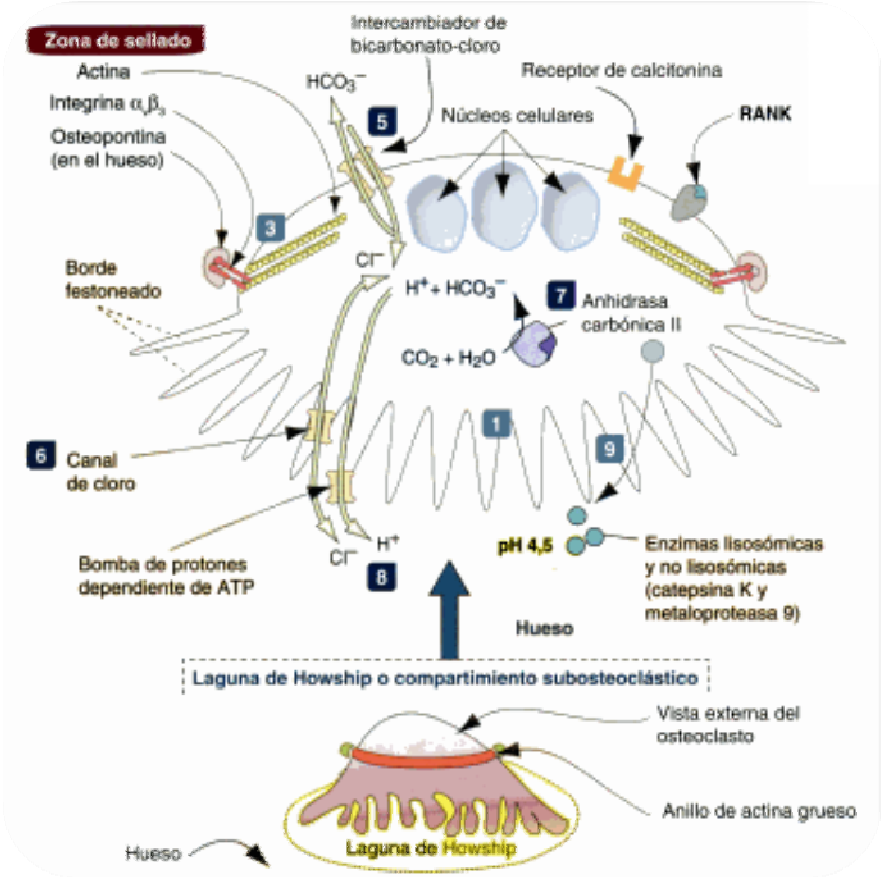
- Osteoblasto >> matriz ósea (30%)
- Sintetiza y reabsorbe matriz ósea
- Transductor
- OSF-1
- Fosfato



Hueso

Osteoclastos

- Resorción ósea
- Células progenitoras hematopoyéticas mononucleares
- 100 µm
- Catepsina K >> disolución componentes inorgánicos del hueso (H+-ATPasa)

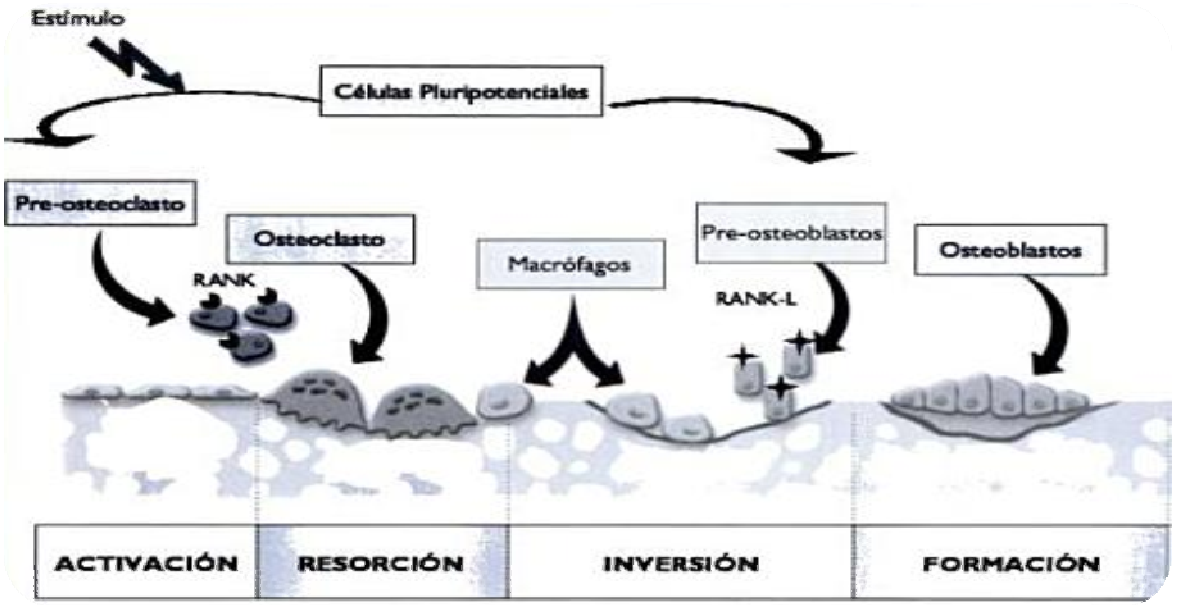


INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Proceso de remodelación

* Sustitución de hueso a nivel microscópico
* Homeostasis mineral y liberación de calcio
* Osteonas



Proceso de remodelación

Activación

* Solicitación mecánica
* Diferencial de presión >> movimiento de fluidos a membrana osteocitos
* Inflamación local
* Regulan+: PTH, IGF, IL-1, IL-6, óxido nítrico.

Resorción

* Secreción de M-CSF
* Expresión de RANKL
* RANKL+RANK= osteoclastogénesis
* Osteoclasto (+)
* pH ácido
* Regulan:+ RANKL - GM-CSF

Proceso de remodelación

Inversión

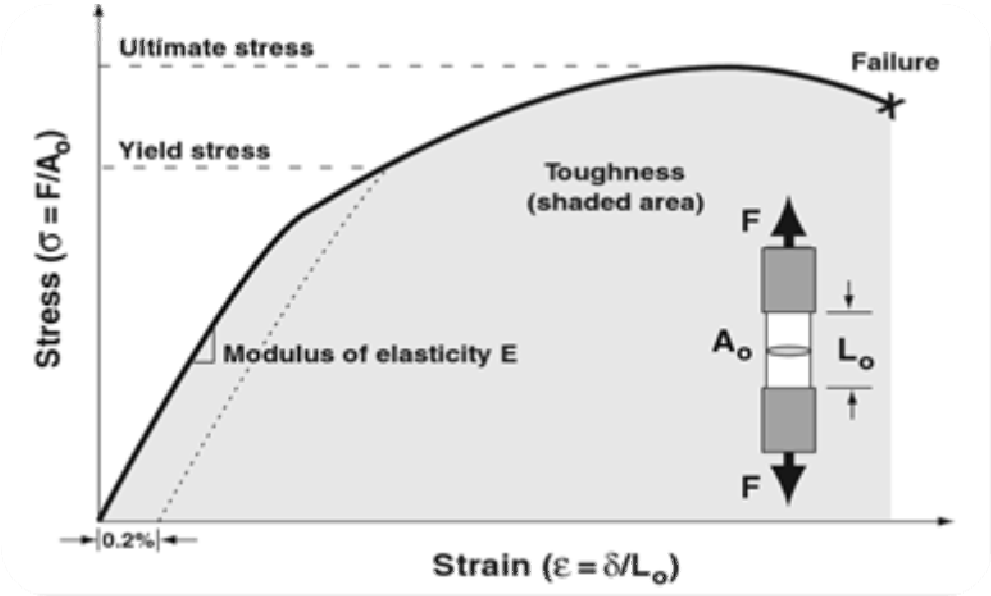
* Apoptosis osteoclastos
* Macrófagos «limpian»
* Preparan anclaje osteoblastos

Formación

* Osteoblastos
* Síntesis de osteoide (6µm) y mineralización
* Resorción = Formación
* Atrapamiento de osteocitos
* Regulan+= IGF - FGF

Propiedades mecánicas del hueso

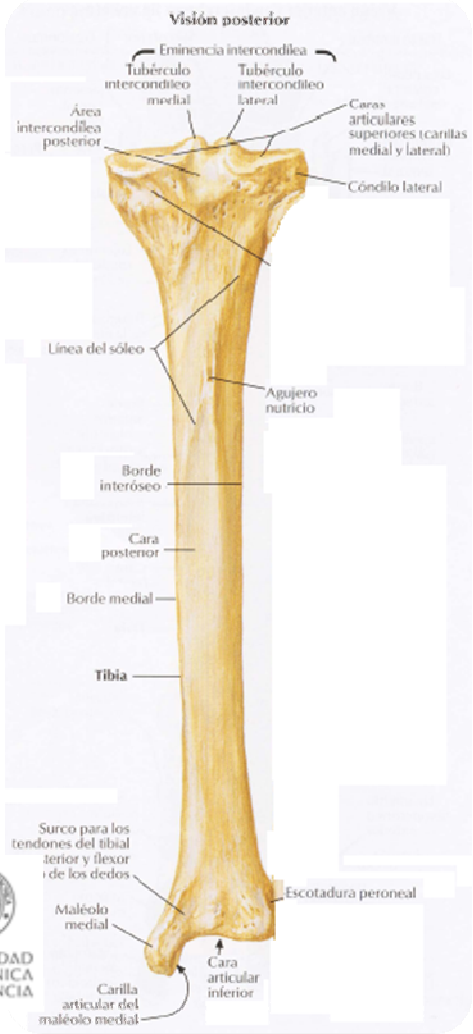
* Adapta a sus requerimientos mecánicos
* Resiste fuerza de corte, compresión, tracción y fatiga
* Cuando carga excede a las propiedades estructurales ocurre fractura
* Módulo de elasticidad, zona elástica, plástica, tenacidad..



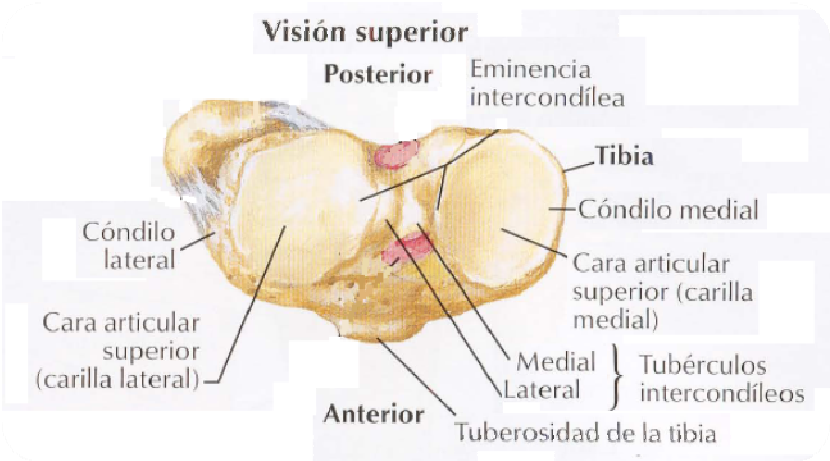
Propiedades mecánicas del hueso

* Anisótropo
* < Compresión dirección longitudinal
* - factores de edad, trauma y enfermedades
* Hueso: cortical
  * Flexión
  * Hueso: trabecular (BT/TV o BMD)
  * Epífisis
  * Contacto
  * Reforzamiento transitorio en zona plástica

Anatomía



* Soporta peso
* Cóndilos grandes
* Diáfisis triangular



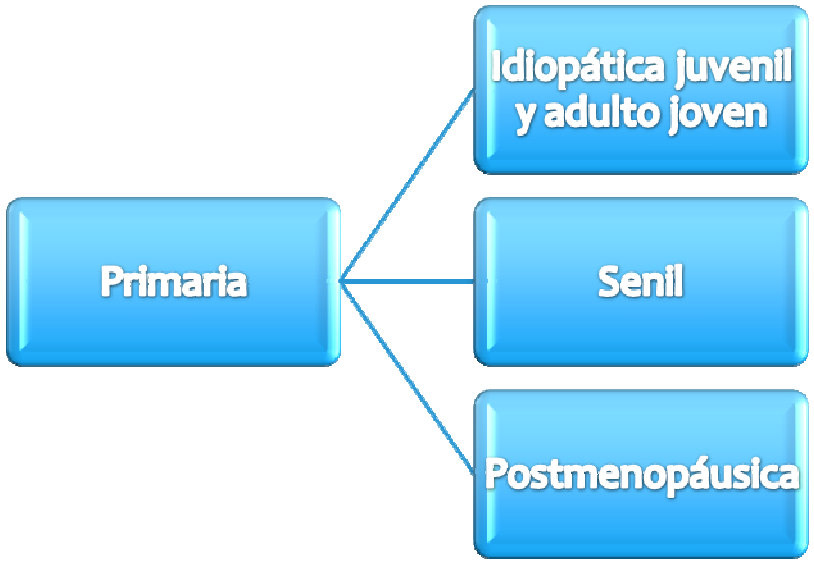
INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Osteoporosis

* El *National Institute of Health (NIH)* la define:
  * *«enfermedad generalizada del sistema esquelético, caracterizada por la **pérdida de masa ósea**, que compromete la **resistencia** y tiene como consecuencia una mayor fragilidad ósea y mayor susceptibilidad a fractura»*
* Densidad masa ósea (DMO)
* Biopsia

Osteoporosis



INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Metodología

Diseño de metodología

Traducción

Cortes CT

Formato original del archivo: *dicom*

Portátil gama básica

Reconocimiento

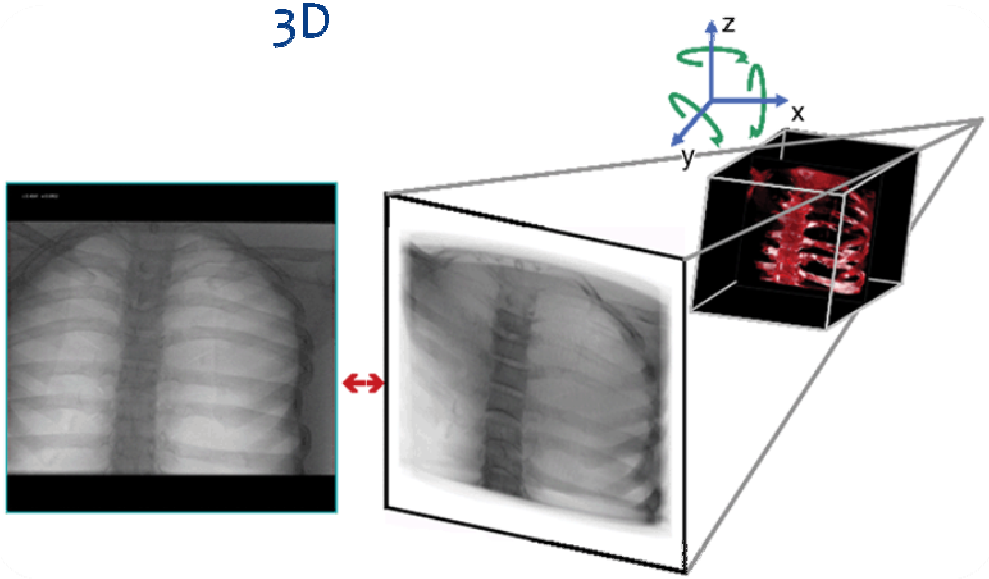
Rutina de contornos

Modelado

Crear geometría 3D

Escenarios

Hueso sano y osteoporótico



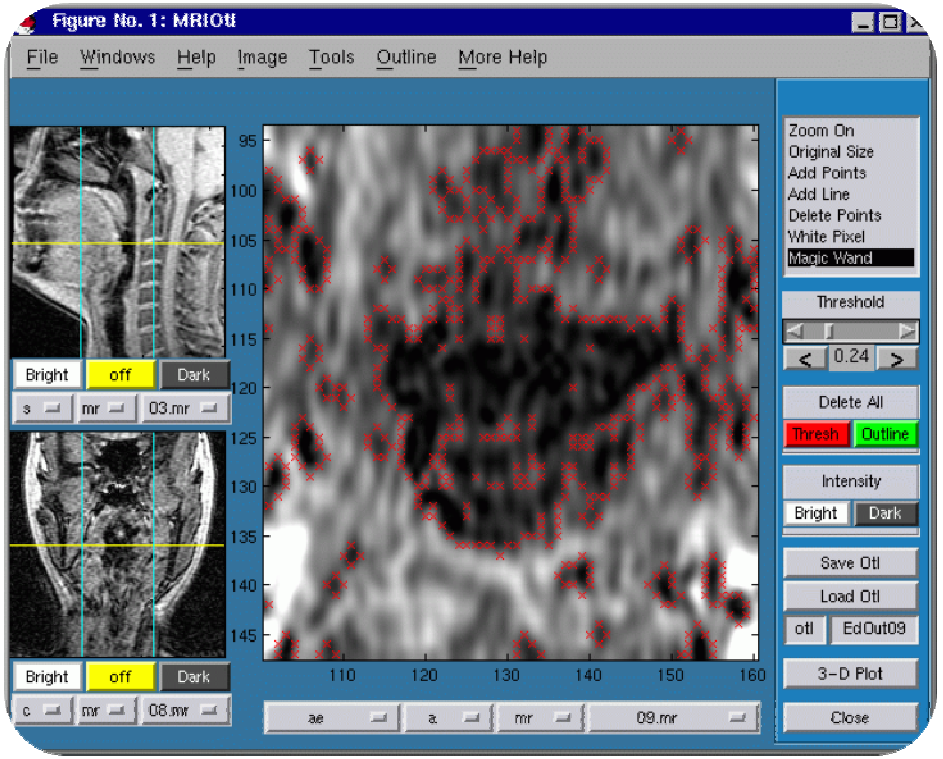
INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Traducción

* Imagen del sitio de *OsiriX Advanced imaging in 3D/4D/5D*
* Características del estudio:
  * 350 cortes (#-164)
  * Distancia entre cortes 0.5 mm.
  * Extensión: .dcm -> *.jpg*
* Se suprimió información irrelevante como datos del hospital o centro que realizó el estudio

Reconocimiento

- 349 cortes importaron a MATLAB
- *CTMRedit*
- Algoritmo de reconocimiento de contornos
- Modificación manual:
  - Contraste de la imagen
  - Umbral de intensidad de pixel
  - Puntos
- *.csv*

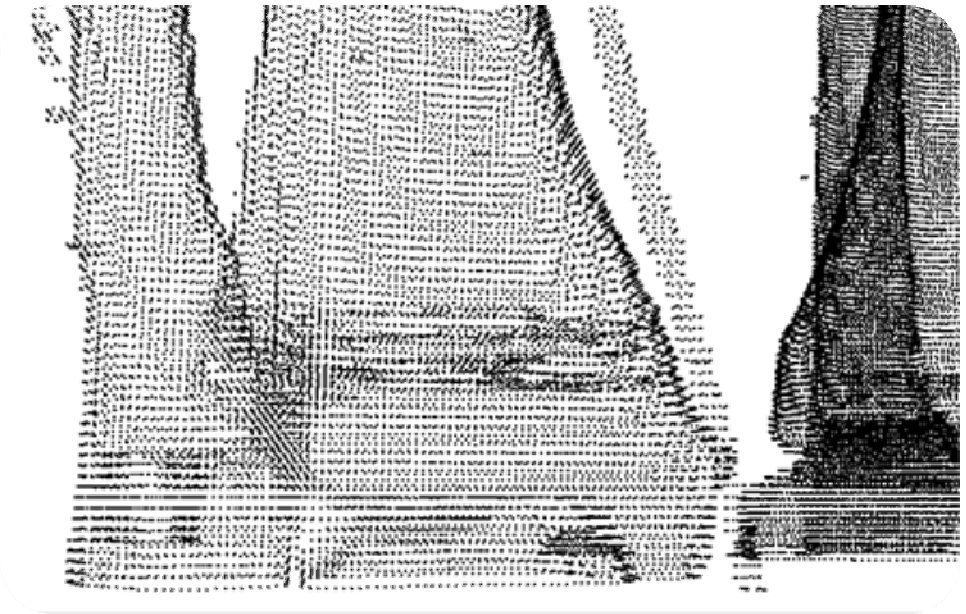


INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

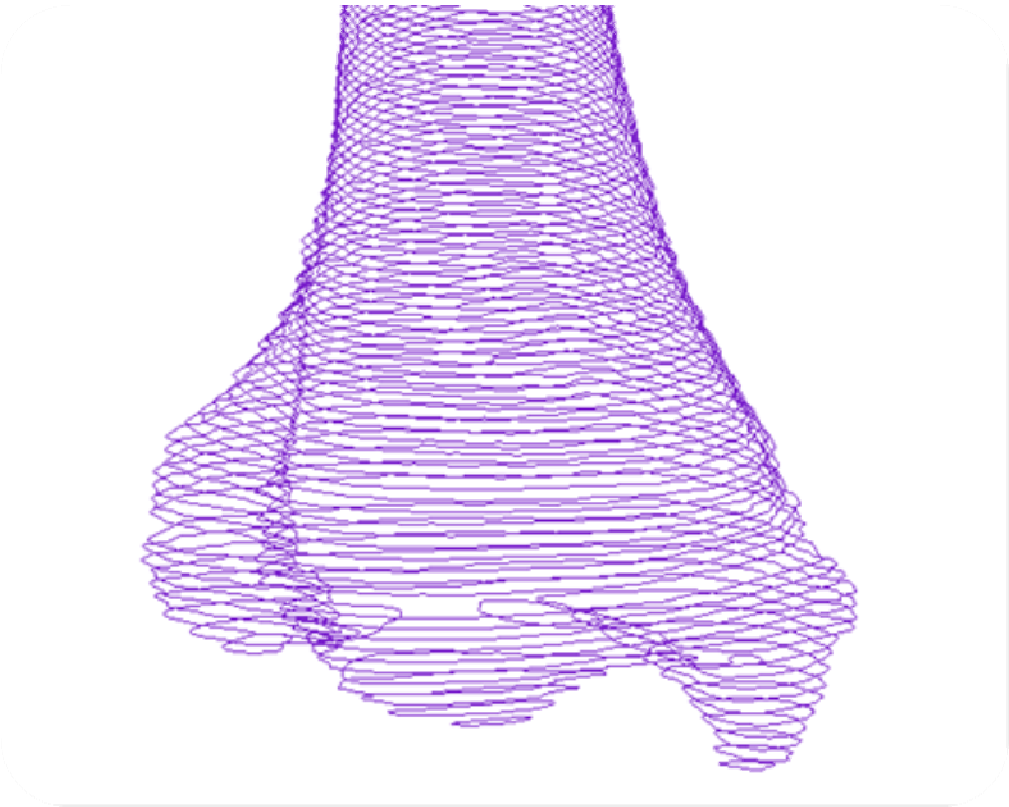
Modelado

* .csv importó a RHINOCEROS 4.0 como nube de puntos para cada corte
* Selecciona geometría de interés



Modelado

* *Polyline through points*
* Reconstruir para tolerancia <0.5 mm
* Diferentes estrategias para modelar el hueso tibial:
* Diáfisis = *loft*
* Epífisis = *loft*, *patch* y *blend surface*



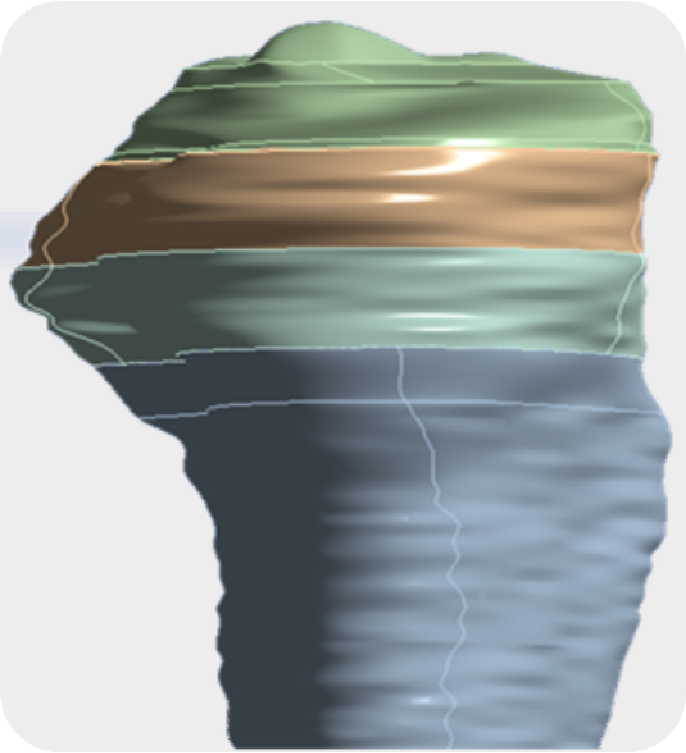
INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Modelado

INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Escenarios

* ANSYS 12.0
* Compresión en hueso sano y hueso con osteoporosis
* Diferenciación mecánica en zonas marcadas
* - 44% en osteoporosis



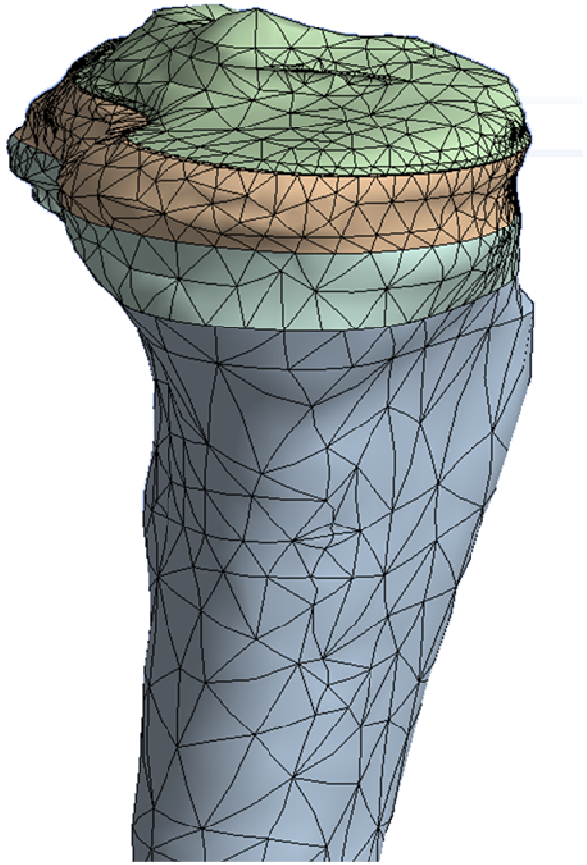
INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Propiedades elásticas corticales								
E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
11925	12625	20000	4150	6700	5825	0.398	0.2425	0.234
Propiedades elásticas del grupo trabecular A								
E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
247	288	874	66	118	100	1.52	-0.02	-0.07
Propiedades elásticas del grupo trabecular B								
E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
86	140	411	25	50	42	0.52	-0.02	-0.07
Propiedades elásticas del grupo trabecular C								
E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
86	140	411	25	51	42	0.52	-0.02	-0.07

Propiedades elásticas corticales								
E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
6678	7070	11200	2324	3752	3262	0.22288	0.1358	0.13104
Propiedades elásticas del grupo trabecular A								
E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
138	161	490	37	66	56	0.8512	-0.0112	-0.0392
Propiedades elásticas del grupo trabecular B								
E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
48	78	230	14	25	24	0.2912	-0.0112	-0.0392
Propiedades elásticas del grupo trabecular C								
E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
48	78	230	14	28	24	0.2912	-0.0112	-0.0392

Escenarios

* 24661 nodos
* 13250 elementos
* 15 kPa -> 9 kPa en eje longitudinal

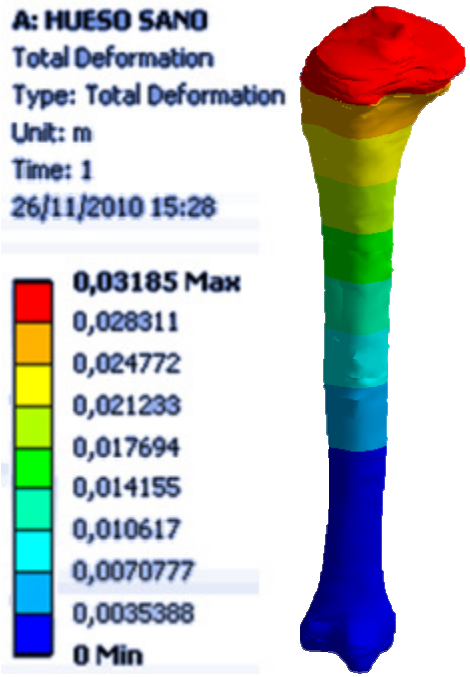


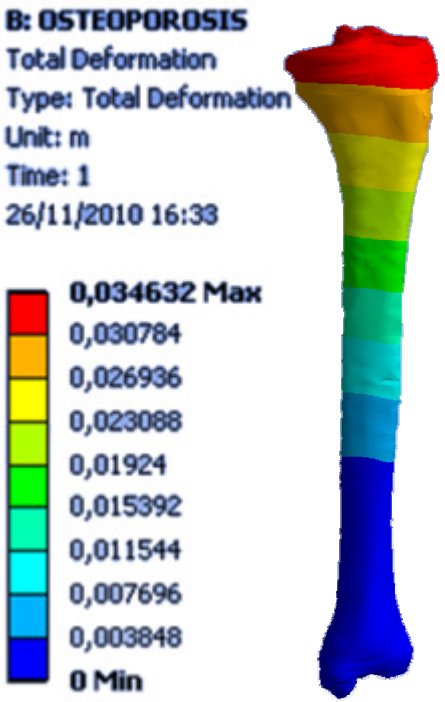
INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

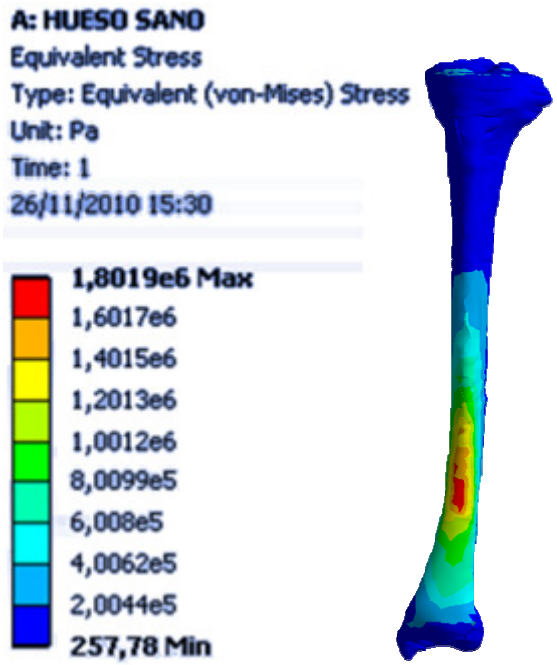
Resultados

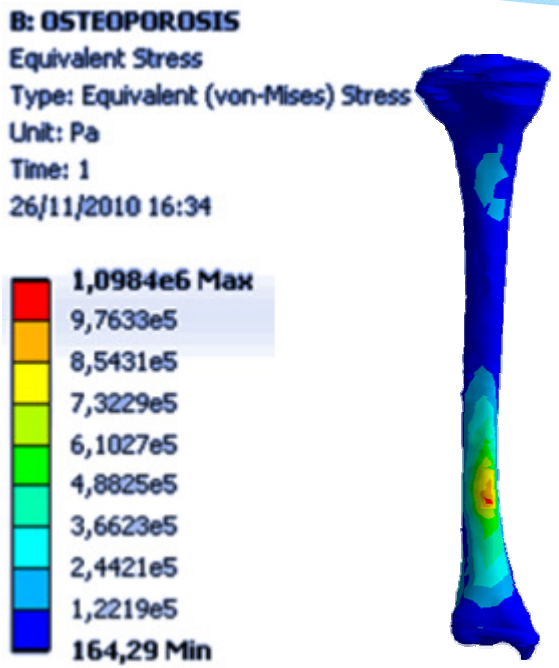
Resultados


A: HUESO SANO
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1
26/11/2010 15:28
0,03185 Max
0,028311
0,024772
0,021233
0,017694
0,014155
0,010617
0,0070777
0,0035388
0 Min

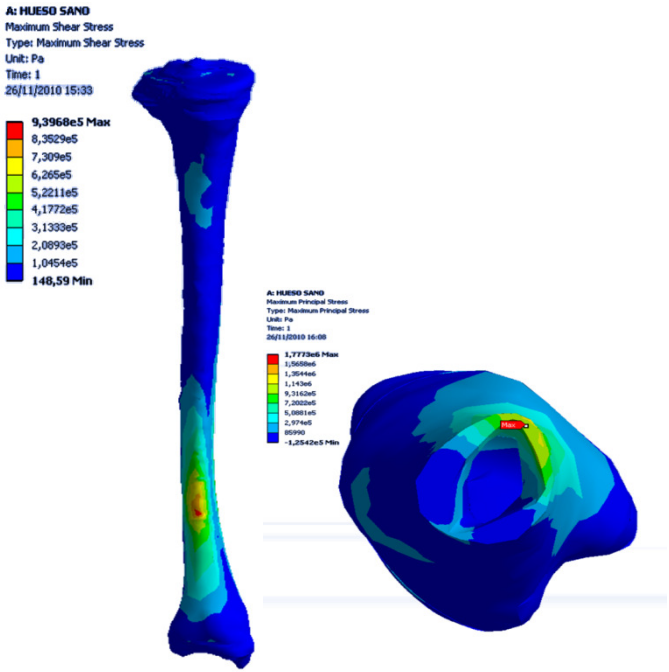

B: OSTEOPOROSIS
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1
26/11/2010 16:33
0,034632 Max
0,030784
0,026936
0,023088
0,01924
0,015392
0,011544
0,007696
0,003848
0 Min

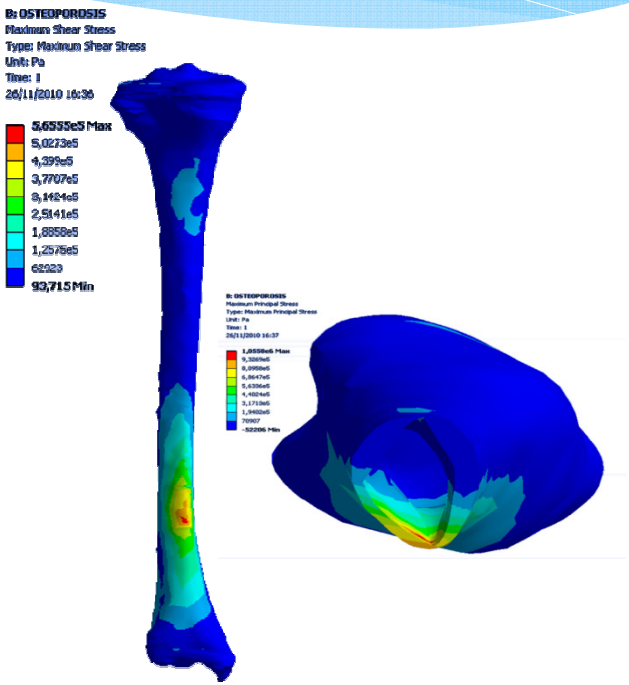
Resultados


A: HUESO SANO
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 1
26/11/2010 15:30
1,8019e6 Max
1,6017e6
1,4015e6
1,2013e6
1,0012e6
8,0099e5
6,008e5
4,0062e5
2,0044e5
257,78 Min


B: OSTEOPOROSIS
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 1
26/11/2010 16:34
1,0984e6 Max
9,7633e5
8,5431e5
7,3229e5
6,1027e5
4,8825e5
3,6623e5
2,4421e5
1,2219e5
164,29 Min

Resultados





INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Conclusión

Conclusión

* Se realizó un modelo 3D de una tibia a partir de imágenes de CT
* Traducción – Reconocimiento – Modelado – Escenarios
* *.dcm - .jpg - .csv- .iges- .wbpj*
* Hueso osteoporótico = fragilidad elevada (-39% VM)
* Posible presencia de daño en tercio distal, platillo tibial y cuello >> inserción muscular

DIFERENCIACIÓN DE ZONAS

Tabla II. Propiedades mecánicas de tibia sana

- COMPRESIÓN: 15 KPa
- DEFORMACION TENSIÓN: 0.015% 1.8019 MPa
- CONSECUENCIAS: ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN EL TERCIO DISTAL

Tabla III. Propiedades mecánicas de tibia con osteoporosis

- COMPRESION: 9 KPa
- DEFORMACION TENSIÓN: 0.0168% 1.098 MPa
- CONSECUENCIAS: ALMACENAMIENTO DE ENERGIA EN EL TERCIO DISTAL, MESETA TIBIAL Y EN UNA DE LAS INSERCIÓNES DEL MUSCULO SOLEO
- COMPRESIÓN: 15 KPa

Trabajo a futuro

Trabajo a futuro

* Validar el modelo: *invitro*
* Escenarios: clavos prostéticos de fijación o platillo tibial de *UHMWPE* para fallo articular
* *MicroCT*
* *.STL* >> planeación cirugía
* Agregar ligamentos y huesos circundantes para locomoción y escenarios cotidianos

Valencia 2010

Caracterización y diseño de metodología de predicción de fallo mecánico en huesos sanos y osteoporóticos mediante el método de análisis de elementos finitos (MEF)

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

AUTOR: SAID ANTONIO REZC GUTIÉRREZ

DIRECTOR: SANTIAGO FERRÁNDIZ BOU

INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA