

# Estudio de las propiedades Mecánicas del Sistema Óseo

Alvaro Mendoza<sup>1</sup>

(Segunda parte)

## RESUMEN

Los estudios se hicieron bajo la supervisión del área de Biomecánica. Los ensayos dieron a conocer los valores reales de los esfuerzos mecánicos que es capaz de resistir el tejido óseo. Se elaboraron curvas de esfuerzo-deformación, con la ayuda de deformímetros mecánicos y rosetas de deformación, encontrándose las diferentes propiedades mecánicas y dando una base sólida para estudios posteriores en el área, que ayuden aún más al desarrollo de la bioingeniería en Colombia.

## INTRODUCCIÓN

La finalidad del presente trabajo es determinar los ensayos más apropiados que se llevan a cabo para conocer las principales propiedades mecánicas en el tejido óseo. Se busca sintetizar dentro de una gran cantidad de variables que afectan las propiedades mecánicas de los huesos, cuáles son las principales que afectan el hueso en "vivo" y al tejido óseo al ser extraído para luego ser ensayado.

Debido a la ausencia de investigaciones sobre las propiedades mecánicas en huesos humanos, este trabajo busca aportar datos sobre el comportamiento mecánico y poder dar bases concretas para futuros estudios.

Se quiere también implantar una normalización en los ensayos, que permitan una comparación de resultados de diferentes investigaciones y eliminar el efecto de algunas variables, dándoles mayor confiabilidad a los resultados obtenidos.

Además, se busca crear conciencia sobre la importancia del tema proponiendo estudios más especializados que aporten nuevos datos y sean de aplicación en nuestro medio.

En un primer trabajo que fue publicado en la revista *Ingeniería e Investigación* número 23, los ensayos que se realizaron fueron sobre huesos largos, adoptando como probeta de ensayo al hueso intacto (completo).

El material hueso lo suministró el hospital San Juan de Dios proveniente de amputaciones de adultos, de donde se obtuvo principalmente tibia, en menor cantidad fémur y peroné.

Las muestras se mantuvieron frescas y humedecidas en solución de Ringer y almacenadas por corto tiempo (1 día) en el refrigerador.

Los ensayos realizados con los huesos intactos fueron de compresión, flexión, torsión e impacto. Se registraron los valores de los ensayos, pero éstos presentaron grandes desviaciones, debido a la gran cantidad de factores que influyen en el comportamiento y que no se pueden manejar. Por ejemplo, en la compresión se necesita que la carga sea central y pase por el eje centroidal de la pieza (hueso), y esto es prácticamente imposible.

En el ensayo de flexión se requiere que el elemento sea recto y tenga una sección transversal simétrica, y el hueso no es recto ni posee simetría.

Para el ensayo de torsión se requiere que el elemento tenga una sección transversal circular. Si analizamos el hueso, éste no cumple las condiciones necesarias para realizar ensayos de compresión, flexión ni torsión.

Entonces, las propiedades mecánicas sacadas con base en el hueso completo, nos permite sólo conocer valores promedios, debido a las irregularidades geométricas y a la anisotropía del hueso.

El procedimiento que se adoptará para el estudio de las propiedades mecánicas, está basado en probetas extraídas del hueso, específicamente del tercio medio. Para controlar la anisotropía del hueso, las muestras que se escogen poseen una dirección tangencial-longitudinal.

Para que las propiedades mecánicas puedan compararse fácilmente, es necesario cumplir condiciones que aseguren esa comparabilidad de los resultados que son las condiciones de semejanza:

- ♦ La geometría (forma y dimensiones de la probeta).
- ♦ La mecánica (velocidad de aplicación de la carga).
- ♦ La física (humedad y temperatura).
- ♦ Unificación en el método de la fabricación de las probetas.

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico Profesor Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad Nacional

I. ENSAYO DE TRACCIÓN

Este es un ensayo bastante representativo de las propiedades mecánicas como límite de elasticidad, fluencia, carga máxima, resistencia a la rotura, etcétera.

El problema consiste en que se tuvo que diseñar y fabricar un dispositivo que contemplara el tamaño de la probeta ( $l_0 = 50$  mm) y a la vez se pudiera adaptar a la máquina universal de ensayos.

El montaje de la probeta de tracción y su dispositivo de sujeción-mordaza se muestra en la figura 1.

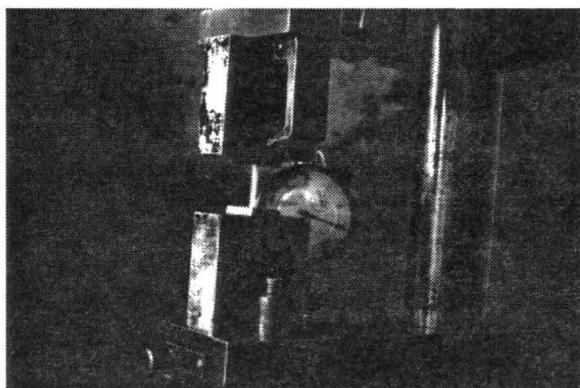


Figura 1. Ensayo de tracción. Montaje

En la figura 2 se observa el tamaño de una probeta de tracción acompañada con otra probeta que muestra la falla característica en éste ensayo.

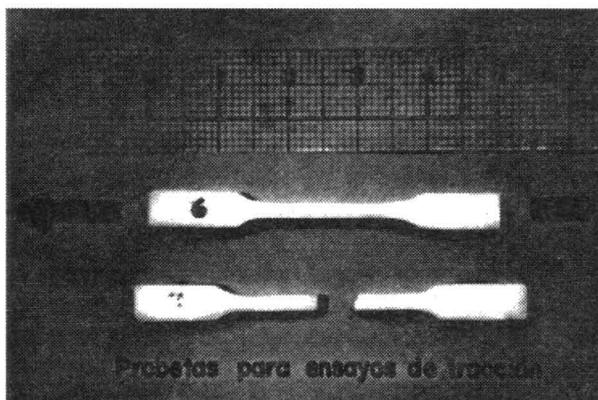


Figura 2. Probeta de tracción y falla característica

Los resultados del ensayo de tracción muestran que en la probeta no se presenta acuellamiento en la zona de fractura, pero hay flujo plástico que no registran los materiales frágiles.

Se observa el inicio visual de flujo plástico, pues el hueso en esa zona se torna de color opaco, trata de extenderse sobre el hueso, para luego romper de una manera estrepitosa.

En la figura 3. se muestra el comportamiento y la magnitud de las propiedades mecánicas a tracción.

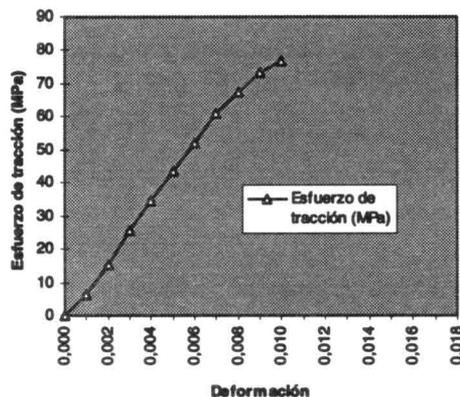


Figura 3. Diagrama Esfuerzo de Tracción

Cuadro 1. Propiedades mecánicas a tracción (Tejido Óseo)

Propiedad	Magnitud	Unidades
Resistencia última	76.6	MPa
Esfuerzo de fluencia	69.2	MPa
Módulo de elasticidad	7.7	GPa
Deformación elástica	0.8	%
Deformación total	1.0	%
Energía elástica	0.31	MI/m <sup>3</sup>
Energía absorbida	0.17	MI/m

II ENSAYO DE COMPRESIÓN

Para los ensayos de compresión se utilizaron probetas del tercio medio tangencial-longitudinal; no se detectó ruido en la falla, y ésta se localizó en los sitios de contacto con la mordaza y por líneas rectas que suelen formar ángulos de aproximadamente 30° con la carga aplicada.

Las probetas de compresión son más pequeñas que las de tracción, y la medición de la deformación es más complicada debido al tamaño reducido.

En la figura 4 se muestra un esquema de las probetas y la forma de la falla.

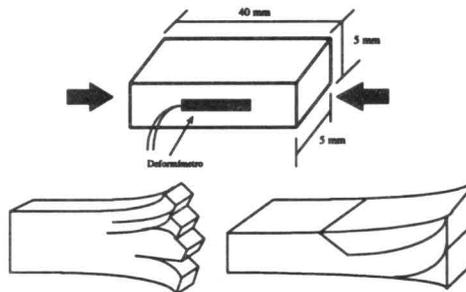


Figura 4. Probetas para compresión y fallas características

En la figura 5 se muestra el montaje de las probetas a compresión, en la máquina universal de ensayos.

Los resultados del ensayo de compresión se muestran en la figura 6 y se compara con la tracción, presentándose un aumento en el esfuerzo de fluencia y en la resistencia última. Se observa un comportamiento más rígido que la tracción en el 30%-40%.

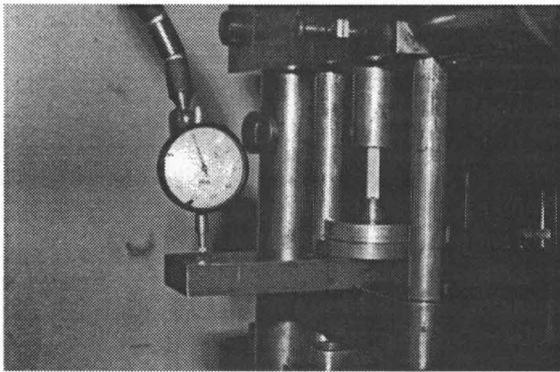


Figura 5. Ensayo de compresión. Montaje

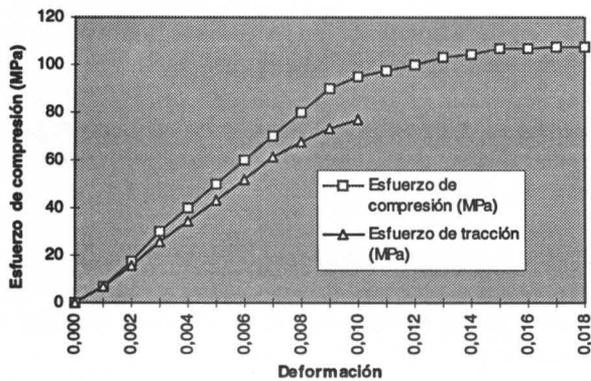


Figura 6. Diagrama esfuerzo de compresión

CUADRO 2. PROPIEDADES MECÁNICAS A LA COMPRESIÓN (TEJIDO ÓSEO)

Propiedad	Magnitud	Unidades
Resistencia última	107,5	MPa
Esfuerzo de fluencia	86,9	MPa
Módulo de elasticidad	10,8	GPa
Deformación elástica	0,85	%
Deformación total	180	%

### III. ENSAYO DE FLEXIÓN

La forma de la probeta es un pequeño paralelepípedo rectangular de sección transversal  $5 \times 5$  (mm<sup>2</sup>) y una longitud de 65 mm. Su ensayo es la de una viga simplemente apoyada con carga central, para permitir una fácil determinación de los esfuerzos. La forma del punzón central debe ser adecuada para la aplicación de la carga.

Se tuvo cuidado del sitio de donde se extrajo la probeta, su dirección de aplicación de carga e influencia de la velocidad de aplicación de la carga.

De manera similar al ensayo de tracción no se observa acuellamiento en el sitio de la carga, pero sí una pequeña deformación plástica de la probeta en forma de arco. Se observa un cambio de color en el sitio donde va a ocurrir el flujo plástico y luego vienen la rotura acompañada de ruido un poco fuerte.

En la figura 7 se observan los tipos de probetas generalmente utilizadas para el ensayo de flexión. La figura 8 muestra el montaje de una de esas probetas. Para poder realizar el ensayo, se diseñaron y construyeron los dispositivos que se muestran en la figura 8.

Los resultados del ensayo de compresión se muestran en la figura 9 y se compara con la tracción y compresión; su comportamiento es un valor medio entre estas dos sollicitaciones

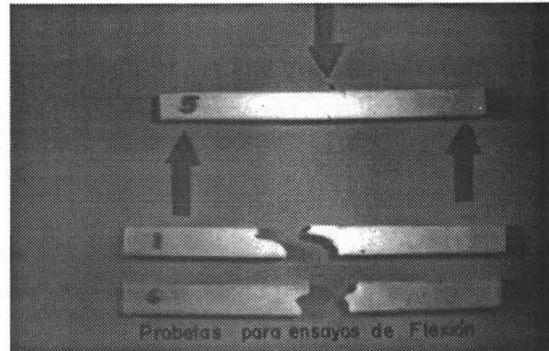


Figura 7. Probetas para flexión; falla característica

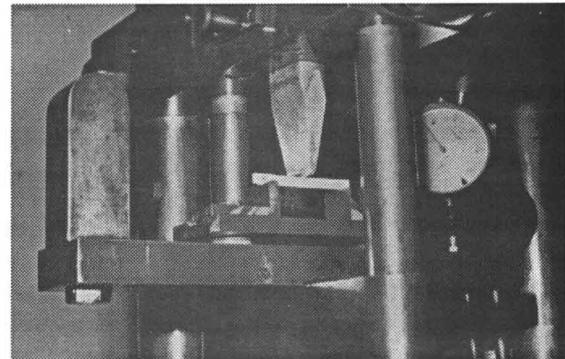


Figura 8. Ensayo de flexión. Montaje

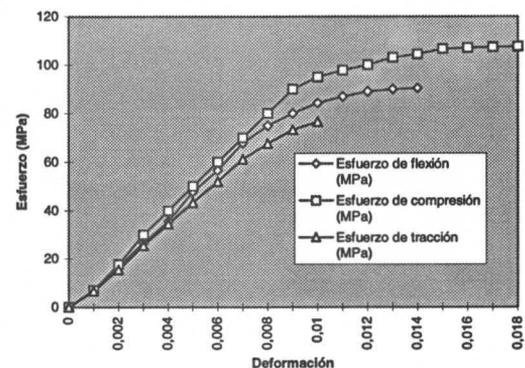


Figura 9. Diagrama de esfuerzo de compresión, tracción y flexión

CUADRO 3. PROPIEDADES MECÁNICAS A LA FLEXIÓN (TEJIDO ÓSEO)

Propiedad	Magnitud	Unidades
Resistencia última	90,4	MPa
Esfuerzo de fluencia	75,9	MPa
Módulo de elasticidad	9,85	GPa
Deformación elástica	0,84	%
Deformación total	1,40	%

Los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio de diseño y comparados con resultados que da la literatura técnica se muestran en el cuadro 4.

#### IV. RESULTADOS

En los ensayos realizados se construyeron aproximadamente, 23 probetas de material hueso, proveniente de personas de sexo femenino y masculino de estrato 2 y cuya edad oscilaba entre los 47 y 58 años.

CUADRO 4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Propiedad	Nacional	Extranjera	Unidades
Resistencia última tracción	76.6	120	MPa
Resistencia última compresión	107.5	150	MPa
Resistencia última flexión	90.4	--	MPa
Módulo elástico (promedio)	9.5	20	GPa

Las diferencias entre los resultados encontrados, pueden originarse en parte porque no se tiene una buena información de cómo se obtuvieron las propiedades mecánicas en la literatura técnica o que los huesos que fueron ensayados poseían deficiencia de pronto en calcio, fósforo y algunos carbonatos.

#### CONCLUSIONES

Una vez finalizado el trabajo sobre los ensayos y con base en los resultados logrados, las conclusiones pueden ser:

- ♦ En su comportamiento mecánico, el hueso es un material deformable que obedece aproximadamente a la ley de Hooke; además, tiene un comportamiento anisotrópico y viscoelástico ya que posee propiedades diferentes, según la dirección del tejido óseo y la variable tiempo que hay que tenerla en cuenta en la aplicación de la carga.

- ♦ El hueso está constituido por dos tipos de tejido, el esponjoso y el compacto. Las propiedades mecánicas logradas, se hicieron únicamente sobre tejido compacto que es un material compuesto y más resistente.

- ♦ El material hueso colombiano es posible que tenga una baja calidad de tejido óseo, debido a una nutrición regular, nivel de actividad deportiva baja y condiciones ambientales malas

#### RECOMENDACIONES

- ♦ Dar continuidad al estudio de propiedades mecánicas para el hueso.
- ♦ Realizar un número mayor de ensayos con huesos para obtener valores más confiables en los resultados.
- ♦ Realizar ensayos de impacto en huesos, en donde se pueda evaluar el efecto de energía de choque y relacionarlo con los accidentes.
- ♦ Realizar ensayos con modelos de huesos, aplicando técnicas como elementos finitos, para evaluar el efecto de la forma variable de los huesos, bajo el concepto de igualdad de resistencia.
- ♦ Realizar estudios junto con los hospitales, sobre consumo de calcio, vitamina D y yodo en Colombia. Realizar ensayos estadísticos para tener una buena confiabilidad en estudios posteriores.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. GAYNOR EVANS, F. *Strees and Strain in Bones*. Thomas Publisher, Springfield Illinois, U.S.A 1978
2. MARTENS, M. "The Geometrical properties of Human Femur" *Archives of orthopaedic and traumatic Surgery*, 1981.