

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO


DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL

LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL

**BIOMECÁNICA DE LAS FRACTURAS Y SUS RESPECTIVAS TÉCNICAS DE  
REPARACIÓN**



Prestador Del Servicio Social:

Otey Vázquez Olguín

Matrícula: 2143022782

ASESOR: Interno:

Juan José Pérez Rivero Cruz y Celis

Número Económico:34271

Lugar de realización: Laboratorio de Cirugía Experimental Universidad Autónoma  
Metropolitana Unidad Xochimilco

Trabajo bibliográfico

Del 23 de mayo al 23 de noviembre de 2021

<b>Índice</b>	
<b>Resumen</b>	2
<b>Introducción</b>	2
<b>Marco teórico</b>	2
<b>Objetivos</b>	22
<b>Metodología utilizada</b>	22
<b>Actividades realizadas</b>	23
<b>Objetivos y metas alcanzadas</b>	23
<b>Resultados discusión y conclusión</b>	23
<b>Recomendaciones</b>	24
<b>Literatura citada</b>	24

## Resumen

Se requieren de conocimientos anatómicos, mecánicos y técnicos para el tratamiento de fracturas de manera adecuada, por lo tanto el comprender la biomecánica de los hueso y fracturas es esencial para la selección y aplicación de la técnicas apropiadas para cada caso, pueden ser casos "simples" como una fractura simple o incompleta que se puede tratar mediante un método de inmovilización externo como un yeso o escayola, o casos más complejos donde se vea involucrada la articulación, placas de crecimiento o fracturas conminutas que requieren de aproximaciones más complejas por ejemplo el uso de una combinación de técnicas como el uso de clavos intramedulares, fijación esquelética, cerclajes o placas ortopédicas, se describe de manera breve las técnicas de reducción(abiertas, cerrada),

Palabras clave: biomecánica, huesos, fracturas, técnicas de reparación

## Introducción

La biomecánica es la ciencia de los movimientos en seres vivos, esto incluye las fuerzas que resiste anatómicamente, la fuerza es un factor de magnitud dirección y aplicación, el hueso resiste de manera cotidiana las fuerzas internas generadas por el músculo, tendones, articulaciones, y externas como gravedad e impactos. Una fuerza excesiva genera una fractura en el hueso, la fractura está definida como la pérdida de la continuidad en el hueso generalmente se da por la incapacidad del hueso de absorber energía, la resistencia del hueso está conferida por material, conformación y posición, por lo que la capacidad de carga tiene que ser en cierta dirección y/o ser excesiva para romperlo, el hueso tiene dos características principales es maleable(colágeno), y resistente(minerales). Para la selección del mejor tratamiento se debe considerar la fractura y los requerimientos biomecánicos del hueso afectado (Caeiro *et al.*,2013).

## Marco teórico

### Biomecánica

Es el estudio de la mecánica aplicada en los seres vivos, abarca todas las fuerzas tanto externas como internas. que ejercen sobre el sistema de soporte (cargas, esfuerzos, movimiento, impactos, etc.) y las respuestas a estos, así como la cinética de las lesiones y del comportamiento de implantes. Consideremos que al ejercer una fuerza determinada sobre un objeto éste se deformara, por lo tanto, las propiedades mecánicas de un objeto están relacionada con la curva de carga/deformación, la curva representa las propiedades estructurales y la rigidez es la fuerza que se requiere para deformar (Caeiro *et al.*,2013; Gemmill *et al.*, 2016).

Rigidez= fuerza/ unidad de longitud de deformación (N/m)

La mayoría de las estructuras presentan cierta elasticidad lo que significa regresar a su estado original una vez que la fuerza desaparece, si es que la fuerza no excede la

rigidez de lo contrario habrá una deformación permanente, a este punto se le conoce como punto de fluencia. Esta fuerza que es aplicada en el objeto es descrita como estrés, los huesos van a soportar el estrés por la gravedad y la acción de los músculos sobre el mismo, el efecto de las fuerzas se distribuirá a lo largo de la superficie, por lo tanto, en menor área mayor estrés, este será representado como;

Estrés = fuerza / área.

Cuando se habla de estrés se hace referencia a la fuerza que se aplica de manera perpendicular con respecto al área donde se mide, en algunas situaciones la fuerza que se aplica es en paralelo lo que resulta en un estrés cortante, para las fracturas nos interesan dos tipos de materiales los isotrópicos como los metales los cuales por el acomodo molecular les permite soportar distintas variaciones de carga y los materiales anisotrópicos como el hueso, el cual está formado de manera organizada con componentes minerales como la hidroxiapatita<sup>1</sup> que brinda resistencia a las fuerzas compresivas y fibras de colágeno que brindan resistencia a la tensión por la elasticidad, a nivel celular se encontrarán las osteonas<sup>2</sup> longitudinalmente a la diáfisis del hueso, las propiedades de resistencia del hueso van a depender de la dirección de carga, el hueso es más fuerte en compresión que en tensión, es más fuerte cuando se aplica fuerza longitudinalmente que transversalmente, la curva de estrés por presión que describe las propiedades del material se obtiene con el cambio de largo entre el largo original, éste va a estar representado en proporción, en caso de un animal joven se debe de considerar la elasticidad de los huesos que se obtiene dividiendo el estrés y la presión representado en pascales (Caeiro *et al.*, 2013; Gemmill *et al.*, 2016). Como ya se explicó el hueso tiene propiedades elásticas por lo tanto tiene la propiedad de recuperar su forma una vez que la fuerza ejercida desaparece, pero también es plástico, lo que implica que la deformación puede prevalecer sin la fuerza ejercida, la fractura del hueso va a estar relacionada con la triada de fuerza, plasticidad y elasticidad implicada en las fracturas representada en la figura 1 y 2( Laffose, *et al.*, 2014 ).

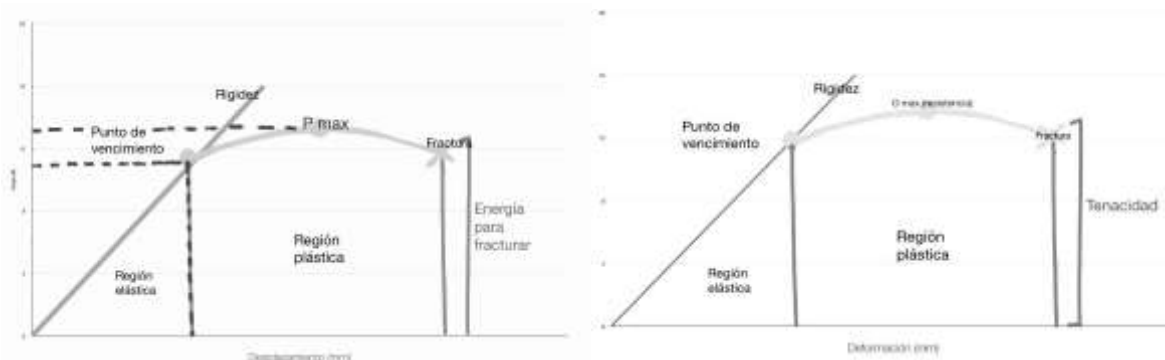


Figura 1 -2

<sup>1</sup> Biocristal formado por calcio, fósforo e hidrógeno calcio, fósforo, e hidrógeno, de acuerdo con la fórmula  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{HO})_2$  (García- Garduño *et al.*, 2016)

<sup>2</sup> Formado por un conjunto de laminillas concéntricas de tejido óseo compacto que rodea un conducto central llamado canal de Havers

Representación de la curva de carga deformación, representa la relación de las propiedades del hueso, entendiendo que si las cargas se mantienen en la zona de deformación es reversible y la estructura recupera su forma y sus dimensiones al eliminar la carga. La fuerza aplicada determina la deformación, la curva que une la fuerza y la deformación representa la firmeza del objeto, la cual depende de la inercia y la forma, concepto que debe diferenciarse de rigidez que está asociado exclusivamente con el material (cuadro 1), gráficas modificadas de Caeiro et al.,2013.

Material	Elasticidad en gigapascales
hueso cortical	7-21
hueso esponjoso	0,7-4,9
aluminio	400
cemento quirúrgico	2,5-3,5
acero inoxidable	200
titanio	100

Cuadro 1 modificación de cuadro de Laffose *et al.*, 2014 donde se observa la resistencia a la elasticidad que tiene el hueso cortical y esponjoso, así como otros materiales comunes en la clínica ortopédica.

Cuando se evalúan los mecanismos de reparación de fracturas, se debe de considerar factores como las propiedades estructurales del material y el momento de inercia del área, como una medida de resistencia a las fuerzas de flexión, la cual se fundamenta en la geometría (dispositivos de fijación) más que en el material, ya que la ecuación no considera el material solo pueden compararse estructuras del mismo material. Donde "b" es la sección donde cruza y "h" el peso paralelo a la dirección de la fuerza y "r" es el radio (Gemmill *et al.*, 2016).

Momento de inercia en el área =  $bh^3 / 12$  (para una estructura rectangular)

Momento de inercia en el área =  $\pi(r)^4 / 4$  (para estructuras cilíndricas) en este caso se puede utilizar momento polar de inercia =  $\pi(r)^4 / 2$ , referente a la resistencia a la torsión (Gemmill *et al.*, 2016).

### Tejido óseo

La anatomía y la composición del hueso son lo que le permite tener las características biomecánicas que lo hacen resistente a las fuerzas a la que es expuesto, está compuesto de un 2% de células que están en un continuo ciclo de reparación y reabsorción ósea, una matriz extracelular 30% de materia orgánica compuesta en su mayoría por colágeno tipo I que le da la característica elástica al hueso, también se puede encontrar colágeno de tipo III y V, así como proteínas no colagénicas como la osteocalcina, osteonectina y osteopontina y 69 % de minerales los cuales se encuentran en forma de hidroxapatita formada por fosfato tricálcico y carbonato de

calcio e impurezas, los cuales se ubican alrededor de las fibras de colágeno, son cristales que favorecen la mineralización esta conformación le da la resistencia de compresión al hueso (König *et al.*, 2007 ; Sisson *et al.*, 2001).

Existen dos tipos de hueso el esponjoso y el compacto, los cuales se encuentran de manera complementaria, el hueso maduro se caracteriza por las fibras de colágeno que forma unidades cilíndricas llamadas osteonas o canales de Havers, el cual tiene una cavidad vascular central que se comunica con el exterior del hueso a través de los canales transversales llamados canales de Volkmann, convirtiendo al hueso en un tejido muy vascularizado teniendo repercusiones en la fijación después de las fracturas (Figura 3) (Laffose *et al.*, 2014).

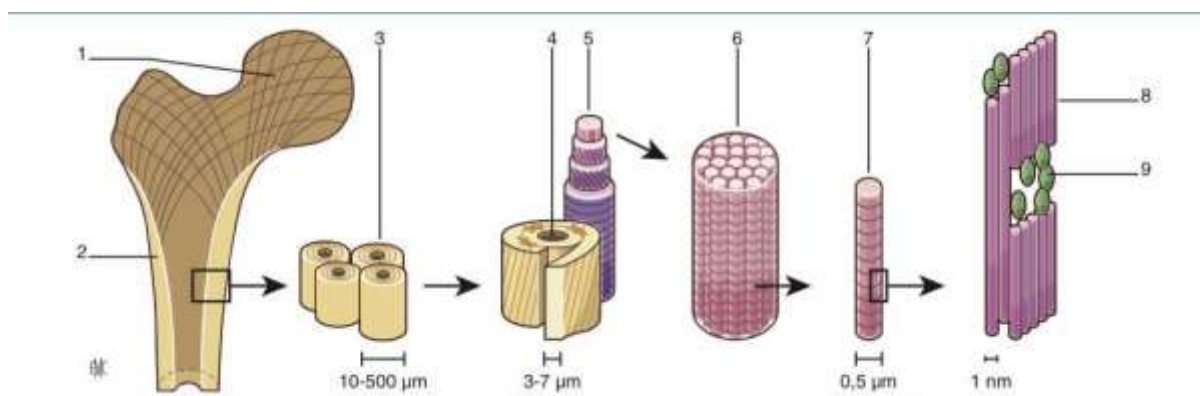


Figura 3 Conformación del hueso cortical 1 hueso esponjoso, 2 hueso cortical, 3 osteon, 4 canales de Havers, 5 lámina de colágeno, 6 fibra de colágeno, 7 fibrilla de colágeno, 8 colágeno, 9 cristales de hidroxiapatita (Laffose *et al.*, 2014).

### Clasificación de los huesos

Huesos largos se caracterizan por un cuerpo llamado diáfisis y en los extremos proximal y distal encontramos el epífisis formados por hueso esponjoso, la forma del diáfisis está determinada por el hueso compacto que rodea la cavidad medular.

Huesos planos existen en una variedad de formas, conformados por una capa de hueso esponjoso entre dos de hueso compacto, no presentan cavidad medular.

Huesos cortos pueden ser cilíndricos, cuboides o esfenoides formados por una capa de hueso esponjoso y hueso compacto, entre los cuales encontramos a los huesos carpales y tarsales.

Huesos irregulares son similares estructuralmente a los huesos cortos, con menor uniformidad, son impares, las vértebras.

Huesos espláncnicos no se encuentran unidos al resto del esqueleto, hueso peniano (König *et al.*, 2007; Sisson *et al.*, 2001).

## Biomecánica del hueso

Para el anatomista y cirujano Wolf el hueso es un órgano que se adapta a las circunstancias “una acción repetitiva genera una modificación macroestructural”, por lo tanto, el sobrepeso y el ejercicio influye sobre la densidad y la microestructura ósea, aumentándola por el uso. Otro factor asociado de manera general es el músculo que acompaña el hueso, generando un componente complejo más resistente, por lo tanto, entre más fuerte el músculo más fuerza ejerce sobre el hueso.

El comportamiento mecánico de un material puede describirse por lo que lo conforma, pero en el caso del hueso se vuelve complejo el predecir por cada uno de los componentes y la distribución de estos geoméricamente.

La microestructura del hueso y la geometría del mismo le confiere las características heterogéneas, anisotrópicas<sup>3</sup> y viscoelásticas, por lo tanto una variación en la mineralización ocasionará distintas situaciones por ejemplo: un aumento genera huesos quebradizos y una falta de minerales genera un hueso flexible que no soporta cargas generando fracturas, los factores que van a afectar la mineralización son la edad, parámetros biológicos y hormonales, el sexo del animal; en cuanto a la microestructura el hueso esponjoso es cuatro veces menos denso y diez veces menos rígido pero cinco veces más flexible que el hueso cortical, la asociación de los osteones es la característica que le da la resistencia al hueso cortical, como ya se mencionó anteriormente las propiedades van a variar de acuerdo a la carga que el hueso reciba, las micro fracturas reducirán la rigidez de manera progresiva (Sisson *et al.*, 2001; Caeiro *et al.*, 2013; Caeiro *et al.*, 2013; Gemmill *et al.*, 2016).

En cuanto a las características macroscópicas va a variar de acuerdo con el largo, la curvatura (epífisis, metáfisis, y diáfisis) por lo tanto no se puede generalizar en cuanto a las propiedades de los huesos en veterinaria.

El hueso cortical es más resistente a las cargas longitudinales que transversales debido a la orientación de las fibras de colágeno y osteonas, así como también tiene mayor resistencia a las cargas generadas por torsión, en los huesos largos estas características se ven comprometidas ya que dependen de la densidad y la orientación de las osteonas, debido a estas la resistencia del hueso cortical es de 60% del hueso entero. Por lo tanto, existe una relación entre la densidad cortical y las propiedades biomecánicas, el grosor y el diámetro del hueso cortical son los factores principales que afectan la biomecánica, los conductos de Havers le otorgan características anisotrópicas, pero no tiene mayor relevancia.

---

<sup>3</sup> Son aquellos materiales que se comportan de manera diferente de acuerdo en donde se apliquen las fuerzas

En el hueso esponjoso como en el hueso cortical la densidad está relacionada con las características biomecánicas, en el caso del hueso esponjoso las trabéculas<sup>4</sup> están dispuesta de manera vertical y horizontal (importante para la resistencia del hueso) las cuales tienen una función de conexión y sujeción, por lo tanto si hay un descenso del número de trabéculas, la resistencia del hueso disminuye, si hay una pérdida de conectividad entre las trabéculas hay una pérdida de elasticidad, por lo tanto entre mayor el número, grosor y la conectividad mayor será la resistencia a diferencia de una con menor grosor, número y mayor separación, aunque ambas representan la misma masa ósea (Figura 4). La orientación trabecular está relacionada con las características anisotrópicas, por lo que las trabéculas están dispuestas de acuerdo a la dirección de fuerzas de compresión que soporta el hueso, pero lo hace frágil y propenso a fracturas a las fuerzas de carga en otra dirección (Caeiro *et al.*, 2013; Caeiro *et al.*, 2013; Gemmill *et al.*, 2016).

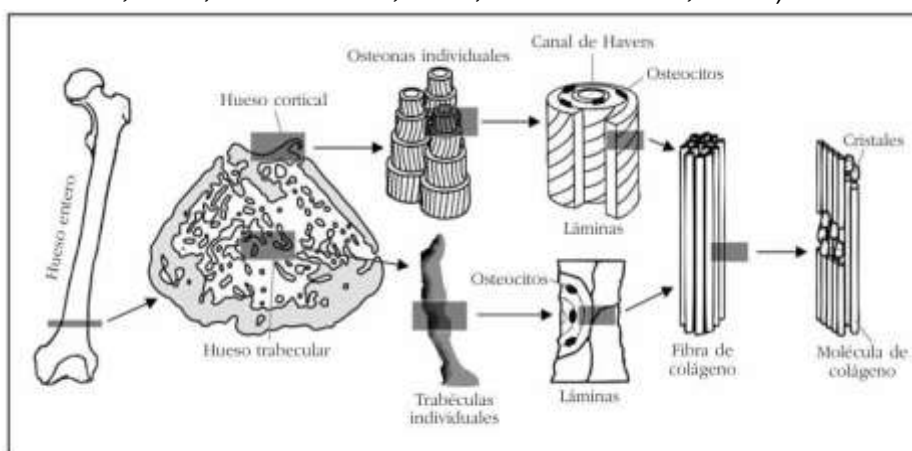


Figura 4 esquema de la estructuración jerárquica del hueso, tanto del hueso cortical como del hueso esponjoso, de manera general a lo particular, diferenciando las características particulares. (Caeiro JR, *et al.*, 2013).

### Biomecánica de las fracturas

Los huesos soportan una carga de compresión ejercida por las articulaciones y los músculos, esta compresión no es solamente axial, los huesos tienen una curvatura "natural", la diáfisis y la superficie articular no están alineadas, generando que soporte una combinación compleja de fuerzas, en consecuencia los huesos largos están sujetos a distintas fuerzas de compresión, flexión, rotación y tensión, el diáfisis hueco del hueso permite soportar todas estas fuerzas mediante la dispersión de las mismas, alejándose del centro. El hueso tiene distintos puntos de presión donde soportará fuerza en distintas direcciones, el hueso cortical es más débil de manera transversal y tiene menos resistencia contra la tensión<sup>5</sup> que en compresión<sup>6</sup>, en otras palabras,

<sup>4</sup> Pequeñas prolongaciones óseas entrecruzadas formando una malla ósea y limitan y compartimentan las cavidades medulares del tejido esponjoso.

<sup>5</sup> la acción de fuerzas opuestas sobre el hueso.

<sup>6</sup> aplicación de fuerzas hacia dentro sobre el hueso.



es más sencillo romper un hueso por tensión que por compresión. El hueso cortical tiene una característica viscoelástica<sup>7</sup>, esto quiere decir que las propiedades mecánicas dependen de la medida de tensión de deformación, el rango de tensión aumenta con la actividad, aumentando la elasticidad del hueso, el hueso seguirá comportándose de manera elástica, aún con los cambios en la tasa de tensión, no obstante, el hueso cortical manifiesta una transición de dúctil-frágil conforme aumenta la tasa de deformación (Caeiro *et al.*,2013; Gemmill *et al.*, 2016).

Se puede diferenciar los mecanismos de ruptura de una estructura en dos tipos:

- Con carga: caracterizada por la aplicación de una fuerza de manera continua hasta la ruptura, fractura por medio de un traumatismo agudo.
- Cuando la fatiga se da por debajo del límite de elasticidad, pero la fuerza es constante se da en caso de fracturas de implantes por la pérdida de estabilidad (Caeiro *et al.*,2013; Caeiro *et al.*,2013).

### Fractura y fatiga

Se pueden predecir 5 tipos de fracturas en el hueso cortical generadas de acuerdo a las situaciones de carga a la que fue sometido el hueso, una fractura oblicua estará causada por una sobrecarga de compresión axial la cual se caracteriza por cizallamiento<sup>8</sup> entre 45 grados en dirección a la carga, la fractura transversal va a ser generada únicamente por fuerza de tensión<sup>9</sup>, la fractura en espiral va a ser generada por una torsión caracterizada por dos líneas de fractura una línea en ángulo que recorre la circunferencia y una longitudinal que une los extremos, una fuerza que va a generar una flexión<sup>10</sup> en el hueso genera una fractura transversa con o sin un fragmento mariposa pequeño, la flexión produce fuerza de tracción<sup>11</sup> y compresión<sup>12</sup> el hueso cederá primero por la tensión generando una falla que se propagará a través del hueso transversalmente generando una fractura simple, la compresión puede ceder por cizallamiento antes de que la fractura por tensión se expanda por el hueso generando un solo fragmento de mariposa, la fractura transversal con un fragmento de mariposa grande es generada por la suma de una fuerza de compresión más una de flexión, en este caso la fuerza generada por la compresión genera que el hueso ceda antes que a la fuerza de flexión generando el fragmento de mariposa grande. Existen ciertas excepciones como es el caso de fuerzas de flexión desigual generando una fractura oblicua en vez de una fractura transversal (Figura 5) (Caeiro *et al.*,2013; Gemmill *et al.*, 2016; García-Alonso *et al.*,2019).

---

<sup>7</sup> Comportamiento mecánico de muchos sólidos, es una medida de la resistencia que opone el material a la deformación y reúne la respuesta elástica(almacena) y viscosa a través de la dispersión (disipación de energía).

<sup>8</sup> Fractura generada por dos fuerzas paralelas y en sentido opuesto generando una fractura oblicua.

<sup>9</sup>Fuerzas ejercidas en sentido contrario.

<sup>10</sup> Produce una compresión en la parte cóncava y tracción en la convexa.

<sup>11</sup> Fuerzas que actúan en sentido opuesto y tienden a estirarlos.

<sup>12</sup> Aplicación de fuerzas que actúan en el mismo sentido.

La fuerza también influirá en el tipo de fractura, entre mayor sea la fuerza que deba absorber y disipar el hueso, más daño estructural habrá, así como también en el tejido circundante, la energía cinética es igual a  $\frac{1}{2} \times \text{masa} \times \text{velocidad}^2$ , por lo tanto, entre más fuerza más fragmentos<sup>13</sup> por lo que es poco probable poder observar alguno de los patrones ya descritos (Figura 5 )(Caeiro *et al.*,2013).

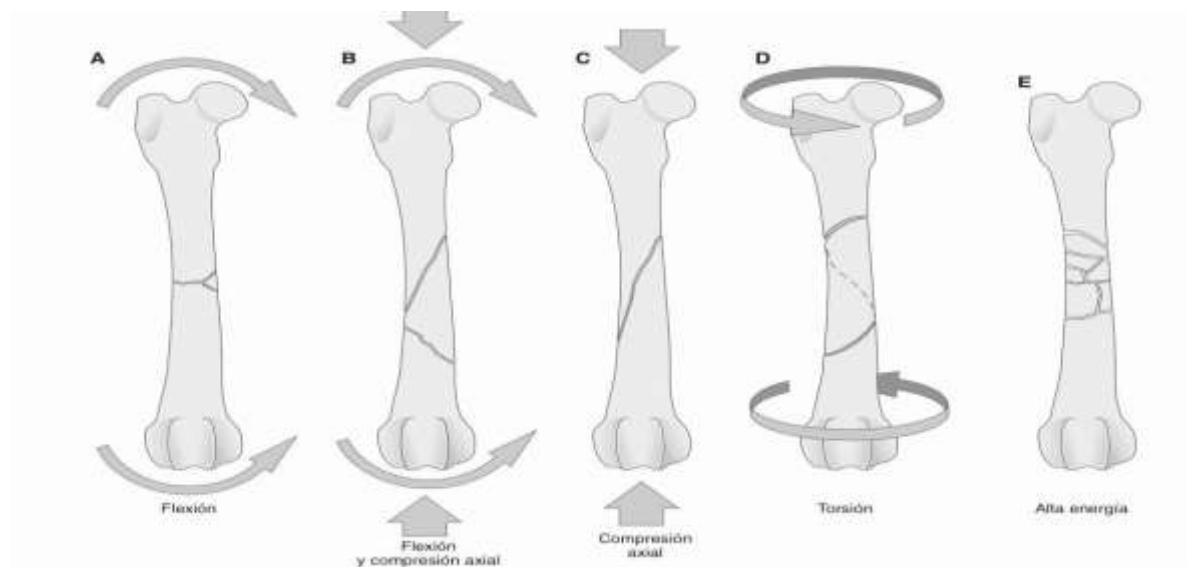


Figura 5 A) fractura transversa generada por únicamente fuerza de flexión B) fractura de mariposa generada por flexión y compresión, C) fracturas de 45° por cizallamiento o una sobrecarga de compresión axial, flexión desigual , D) fractura de espiral generada por fuerza de torsión, E) fractura conminuta impacto de alta energía.

### Tipos de fracturas

Las fracturas se pueden describir y clasificar de distintas maneras, de forma general se pueden describir como abiertas o compuestas las cuales se caracterizan por la pérdida de integridad del tejido (piel y músculo)(figura 6), patológicas son las fracturas generadas por un proceso degenerativo generado por una enfermedad que afecte la integridad y fuerza del hueso (figura 7), conminutas o multifragmentadas estas fracturas implican un número de fragmentos mayor a dos pueden ser reducibles o no reducibles, complicadas se clasifican a las fracturas donde se verán comprometidos vasos sanguíneos, nervios y/o pérdida parcial o total de la función del miembro y fractura múltiple en la cual existe más de una fractura en distintas áreas del hueso o hay más de una fractura en el paciente (figura 8) (Gemmill *et al.*, 2016; Garcia-Alonso *et al.*,2019).

<sup>13</sup> Asociadas a daño muscular, vascular y tegumentario



Figura 6, 7, 8 (de izquierda a derecha) se observa una fractura abierta, una fractura patológica, clasifican de fracturas basada en dirección y número de líneas de fractura (Fossum, 2019).

- Las fracturas abiertas se clasifican de acuerdo con el mecanismo de perforación, extensión y la gravedad de lesión en los tejidos blandos.
  - Tipo I es el tipo más simple, se caracteriza por una fractura simple y una herida menor de 1 cm.
  - Tipo II fracturas conminuta moderada, contusión en tejido blando y una herida cutánea mayor de 1 cm, sin pérdida de hueso o músculo.
  - Tipo III herida y contusión cutánea grande con pérdida o afectación del músculo, pérdida de periostio, se subclasifican en:
    - A) Pérdida ósea grave, pérdida muscular, lesión en nervio o tendón, pero conserva la cobertura ósea.
    - B) tejido blando gravemente comprometido, sin alteraciones en vasos y nervios, pérdida de tejidos
    - C) lesión tanto arterial como nerviosa, existe un compromiso vital del miembro
    - D) Pérdida del miembro (amputación traumática)
  - De acuerdo con el tiempo entre la fractura y la atención médica se va a clasificar en contaminadas (menos de 6 horas) e infectadas (más de 6 horas) (Gemmill *et al.*, 2016; Chico *et al.*, 2012 DeCamp *et al.*, 2015).

Anatómicamente se clasifican de acuerdo a la porción donde se encuentre la fractura proximal, medial o distal (localización general), se clasifican de acuerdo al tipo de fragmentos: tallo verde o greenstick la cual se caracteriza por ser una fractura incompleta en animales juveniles donde el periostio se encuentra completamente o parcialmente intacto, en este tipo de fractura existe una subclasificación la fisura, la cual es una fractura que no se desplazó pero puede ceder a estrés y la depresión caracterizada por fragmentos que invadirán cavidades (Gemmill *et al.*, 2016; DeCamp *et al.*, 2015; Santoscoy, 2008).

En cuanto a la dirección serán clasificadas de acuerdo al ángulo con respecto al hueso: transversas mayor a 30 hasta 90 grados con respecto al axis del hueso, oblicua la línea de fractura va ser hasta de 30 grados con respecto al axis del hueso, en espiral la línea de fractura correrá de manera helicoidal sobre el hueso, longitudinal la línea de fractura seguirá sobre el largo del axis del hueso y las fracturas en "Y" o

“T” suelen involucrar los cóndilos óseos (Gemmill *et al.*, 2016; Garcia-Alonso *et al.*,2019).

De acuerdo al número o la naturaleza de los fragmentos, conminutas se le llamará a una fractura con más de dos fragmentos, de cuña o mariposa a la cual se observa un fragmento intermedio con forma de cuña, segmental o segmentaria se le llamara a la fractura que tiene como característica dos líneas de fractura dando como resultado uno o dos fragmentos de hueso adicionales al hueso completo, estos fragmentos generalmente quedan aislados, existe el riesgo de una pérdida de irrigación, avulsión o apofisaria está caracterizada por la unión de tendón o ligamento, fracturas “chip”o “slap” son fracturas dentro de una articulación, pueden ser parciales, completas o extra articular en la cual la superficie articular se separa de la diáfisis, si no son tratadas adecuadamente suelen generar problemas degenerativos (DeCamp *et al.*,2015; Gemmill *et al.*, 2016)

Fracturas de Salter-Harris o fisarias son fracturas que afecten las placas de crecimiento, de acuerdo al tratamiento puede llegar a afectar el crecimiento de huesos largos de animales juveniles, por lo que se debe considerar el efecto del crecimiento (Adagio *et al.*, 2002), se clasifican en 6 tipos según la extensión y el daño, por lo tanto, las posibilidades terapéuticas y de reparación (se observa los tipos en la figura 9):

- Tipo I: se produce un desprendimiento completo de la placa de crecimiento, generalmente sucede en animales donde la placa de crecimiento es ancha (animales muy jóvenes)
- Tipo II: se fractura de manera parcial la placa de crecimiento y la metáfisis del hueso, generalmente la placa queda dañada y puede generar una deformación parcial del hueso, ocurre de manera distal en fémur y tibia.
- Tipo. III: la fractura involucra parcialmente la articulación, generando una fractura a lo largo de placa y en 90° la articulación partiendo la epífisis, son poco comunes y se dan en húmero distal.
- Tipo IV: fractura articular que atraviesa la placa de crecimiento e involucra una porción metafisaria y parte de la epífisis, se observa de manera distal en el húmero, tiene un buen pronóstico de recuperación si se realiza una reducción correcta.
- Tipo V y VI: por compresión la placa de crecimiento se comprime destruyendo la capa germinal, lo cual va a pasar inadvertido si se toma una radiografía en el momento, manifestado entre 20 y 30 días después de la lesión, el cierre de la placa de crecimiento, según la presión puede ser total y parcial, resultando en lesiones de deformación angular, rotacional, de acortamiento del miembro y/o subluxaciones articulares, se generan de manera distal en ulna y radio.

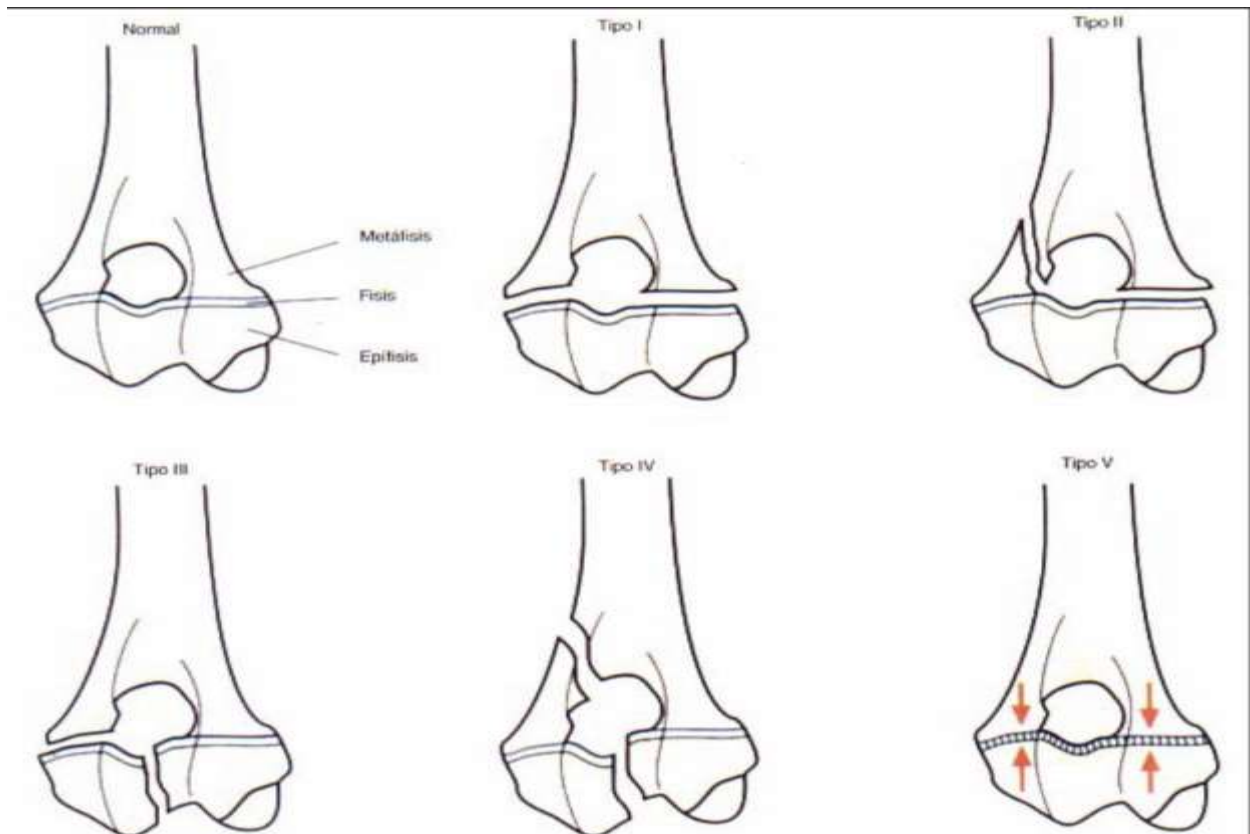


Figura 9 clasificación en fracturas de placas de crecimiento obtenido de Adagio *et al.*, 2002

Fracturas por debilitamiento óseo o fragilización, de acuerdo a lo mencionado anteriormente la fractura va a depender de la resistencia del hueso, por lo tanto, al intentar realizar la reparación del hueso o al realizar una ablación del material de fijación, el hueso pierde rigidez, generando nuevas fracturas (Gemmill *et al.*, 2016; Santoscoy., 2008; Adagio *et al.*, 2002; Vaquero *et al.*, 2010).

### Evaluación de fracturas

Una vez evaluado el paciente y estabilizado se debe realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa de la fractura resumiendo el entorno mecánico, biológico y clínico donde van a intervenir los implantes.

Factor mecánico indica la firmeza con la que la fijación debe hacerse, se debe tomar en cuenta el número de extremidades lesionadas, el tamaño y la actividad, así como la posibilidad de disminuir la carga del hueso (entre la columna ósea y el implante), si la fractura es reducible permitiendo al hueso compartir parte de la carga, a diferencia de una fractura no reducible donde el implante debe de soportar toda la carga hasta que se forme el callo óseo, frecuentemente las complicaciones se presentan si se aplica tensión y cargas pesadas sobre el implante generando que se aflojen prematuramente (animales grandes y/o activos)

- La carga que soportan los implantes va a influir en el éxito del implante, en una fractura transversal la carga va a ser dividida entre el hueso y el implante disminuyendo la probabilidad de fracaso por fatiga a diferencia de una fractura

donde la reconstrucción anatómica no es posible (conminutas, fractura por arma de fuego, intervenciones de alargamiento de hueso) los implantes frecuentemente se aflojan o ceden a la fatiga, se realiza una relación entre la gravedad de la fractura, el tamaño del paciente, las extremidades lesionadas y se clasifican en bajo riesgo y alto riesgo (cuadro 2) (Fossum, 2019; Gemmill *et al.*, 2016; Wood *et al.*, 2014).

Evaluación mecánica de las fracturas									
Precaución					Riesgo bajo				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fragmentos no reducibles			fragmentos reducibles			compresión			
lesión de varias extremidades Razas grandes			existencia de enfermedades clínicas Razas grandes			Única extremidad Razas miniaturas			

cuadro 2 Rangos de medición en evaluación mecánica de la fractura, por ejemplo en caso de un san Bernardo de un año con una fractura transversa distal en miembro delantero, sin ninguna otra afección sería calificado entre 5-6 evaluaciones de Fossum.

Los factores biológicos están asociados a la especie, edad del paciente, la salud, el tipo de hueso donde sea la fractura, la salud del tejido blando asociado, el tipo de lesión y el tipo de abordaje, esta evaluación proporciona una idea clara del tiempo en el que se formará el callo óseo por lo que se puede determinar cuánto tiempo el implante deberá ser funcional, entre más joven y sano el animal más rápido será la curación y menos tiempo deberá estar el dispositivo de fijación, el hueso poroso suelen sanar con mayor velocidad por la presencia abundante de osteoblastos, por lo que se debe considerar el potencial de cicatrización del área afectada (cuadro 3) (Fossum., 2019; Wood *et al.*, 2014).

evaluación biológica										
precaución					bajo riesgo					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
paciente geriatrico			Edad Media			adulto joven		juvenil		
Mala salud Poco recubrimiento de tejido blando Hueso cortical Lesión de velocidad (inestable) Abordaje extensivo					buena salud Buen tejido blando de recubrimiento Hueso poroso Lesión simple Abordaje mínimo. Abordaje cerrado					

cuadro 3 la evaluación biológica está relacionada con el estado físico del animal edad, el tipo de abordaje considerando la recuperación, el daño en el tejido tanto óseo como blando, siguiendo con el ejemplo el del San bernardo de un año con una fractura transversa distal, es una lesión simple en un animal juvenil, considerando un abordaje mínimo sería calificado entre un 8-9. Seleccionando una de las dos calificaciones.

Los factores clínicos están relacionados con los cuidados postoperatorios y factores del paciente entre ellos está la disposición del responsable del animal para cubrir las necesidades del paciente después de la fijación, la cooperación esperada del paciente, y la funcionalidad de la extremidad, se va determinar el sistema de fijación de acuerdo a las necesidades y disposición del dueño para el mantenimiento y el nivel de energía del paciente animales muy activos suelen golpear y mover el fijador esquelético y férulas o yesos, otro factor que debe de considerarse es la comodidad y la funcionalidad (cuadro 4) (Fossum, 2019; Gemmill *et al.*, 2016; Wood *et al.*, 2014)

evaluación clínica									
precaución					bajo riesgo				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
poca cooperación por parte del propietario Poca cooperación por parte del paciente Alta energía Comodidad alta					cooperación por parte del paciente Cooperación por parte del cliente Animal tranquilo/ estoico No es necesario considerar mayor comodidad				

cuadro 4 en esta última evaluación se debe de considerar las características que están fuera del control del médico como la cooperación por parte del propietario y el animal, la energía del animal y si requiere algún tipo de consideración especial para su comodidad (problemas musculares, articulares, otras fracturas), siguiendo el ejemplo por ser juvenil se puede categorizar como poca cooperación y alta

energía, no requiere de una consideración específica, no requiere de mucha cooperación por parte del propietario, la evaluación 5 evaluación ejemplo de Fossum.

La interpretación de la evaluación se va a dividir en puntuaciones bajas, moderadas y altas, las puntuaciones bajas están relacionadas con una recuperación deficiente, animales ancianos, fracturas que la sanación va a mayor a 6 semanas se va a encontrar entre 0 y 3, para valoraciones de entre 4 a 7, requerirá un implante con menos fuerza y una evaluación de las características de la fractura para evaluar la firmeza con la que el implante debe de colocarse o la presión que deberá soportar, si existe alguna desviación hacia el centro inferior, el hueso tardará en generar callo óseo, si por el contrario se desvía hacia el centro superior el implante recibirá mucha tensión, para estas evaluaciones se recomienda el uso de placas óseas, fijadores esqueléticos externos de tipo I y II, fijadores externos. Las puntuaciones altas son las que tienen un mejor pronóstico se encuentran entre el 8 y 10, el implante no necesita ser tan rígido o fuerte, se recomienda el uso de fijadores externos tipo I, cerclaje o los sistemas que sujeten el hueso mediante fricción (Fossum, 2019).

### **Reducción de fracturas**

Es la eliminación y reposicionamiento de fragmentos en la posición anatómica normal, algunas veces se puede evitar la cirugía mediante la manipulación y tracción de los fragmentos, por otro lado, la intervención quirúrgica se utiliza en los casos en los que los fragmentos de hueso son muchos y pequeños, así como si se encuentran lejos de la zona de fractura, quirúrgicamente se puede realizar la reducción de manera visible y manipulación directa del hueso. Para realizar esto debemos tener en cuenta que el hueso y el músculo están unidos y que los músculos al romperse el hueso se contraerán al máximo generando que el hueso se sobreponga y se acorte, esta tensión en el músculo se intensifica por el daño en el tejido blando, la situación se complica si han pasado días desde la fractura por los cambios proliferantes de la inflamación en el área (Gemmill *et al.*, 2016; Fossum, 2019; DeCamp *et al.*, 2015).

De manera ideal los fragmentos deberían ser posicionados de manera anatómica normal, lo que le dará estabilidad al momento de la fijación, aunque no siempre es necesaria, sobre todo en fracturas de diáfisis, lo que si es necesario es asegurar que la alineación articular sea la correcta asegurando el buen funcionamiento. En las articulaciones los fragmentos deben ser ubicados anatómicamente para restaurar la superficie minimizando la posibilidad de un desgaste anormal y la osteoartritis (Gemmill *et al.*, 2016; Fossum., 2019).

### **Reducción cerrada**

Está recomendada para fracturas sin desplazamiento o desplazamiento mínimo y cuando la fractura no afecta ninguna de las dos epífisis del hueso, fracturas distales al codo y la rodilla y fracturas de tallo verde, (huesos palpables como el radio y ulna o en tibia y peroné estas regiones también suelen ser áreas donde el yeso y la férula son más fáciles de aplicar) consiste en realinear la extremidad e inmovilizar, con esta



técnica es poco probable alcanzar la reconstrucción anatómica, tiene como objetivo restaurar la longitud y alinear la extremidad. Se lleva a cabo mediante manipulación, se aplica tracción y contracción para reacomodar el hueso en su lugar, evitando un daño tisular mayor, se debe de realizar en estado de sedación y complementar con un dispositivo de fijación externo, fijador externo de esqueleto, yesos o férulas (DeCamp *et al.*,2015; Fossum, 2019).

Tiene mayor prevalencia de éxito en razas pequeñas y de patas largas que en razas grandes, condrodistróficas o muy musculosas. Se debe realizar bajo anestesia general y relajantes musculares, en el menor tiempo posible para evitar la contractura generada por la reacción inflamatoria y cambios proliferativos, el primer principio de la reducción cerrada es la aplicación de tracción lenta y continua del fragmento que se puede controlar alineándose con el fragmento estable, se debe realizar con el cuidado necesario para evitar la posible laceración, perforación o la compresión de nervios o vasos, y lentamente para relajar los músculos (DeCamp *et al.*,2015).

Se puede realizar la tracción de manera manual, o por gravedad , se debe de sujetar o inmovilizar mediante una gasa o cuerda en la región axilar o inguinal, anclada a la mesa, la relajación del músculo se genera por un aumento progresivo de la tracción, se realiza la tracción del hueso de manera lenta y progresiva para después hacer una reducción anatómica y se manipula (ángulo en forma de v)de manera que el hueso se reubique en el lugar adecuado, la técnica con gravedad utiliza el peso del animal para la tracción y contracción del músculo mediante la fatiga, la longitud de la gasa o cinta que esté sujeta de la pata tiene que ser lo suficientemente larga para solo alzar al animal de la mesa ligeramente, el proceso de fatiga muscular puede durar entre 10 y 30 minutos(DeCamp *et al.*,2015; Fossum, 2019).

### **Reducción abierta**

En este método se puede hacer la reducción con la ayuda visual, generalmente se aplica algún instrumento de fijación interna para asegurar la posición, el instrumento a usar va a depender del tipo de fractura y el área. Esta técnica se utiliza en fracturas inestables, conmutativas, fracturas con varios días, fracturas en superficie articular o que la involucran, fracturas simples que pueden reconstruirse anatómicamente, el abordaje al hueso va a depender de la fractura, de la porción afectada y longitud, se debe de considerar:

- Una manipulación amable y eficiente, evitando la manipulación excesiva, preservando la viabilidad y la posibilidad de curación del tejido blando y huesos.
- Una hemostasia precisa para preservar la visibilidad y la vida del animal, reduciendo las complicaciones postoperatorias, así como seguir las separaciones anatómicas del músculo y fascias.

- Si es necesario realizar un corte en el músculo para exponer la fractura, se debe realizar cerca del origen minimizando el trauma y la hemorragia, facilitando el cierre y minimizando la pérdida de masa muscular.
- Deben evitarse los vasos sanguíneos y nervios principales (DeCamp *et al.*, 2015; Fossum, 2019; Gemmill *et al.*, 2016).

Las técnicas de reducción pueden variar, en caso de una fractura transversal se puede reducir mediante la tracción yuxtaponiendo los huesos colocando los segmentos en su posición normal, o en caso de que el hueso esté superpuesto se puede realizar una palanca con el mango del bisturí o un elevador de periostio pequeño, empujando los fragmentos a su posición, dependiendo de la fractura se pueden utilizar pinzas de sujeción o reducción (Fossum, 2019; Gemmill *et al.*, 2016).

Dentro de la reducción abierta existe la reducción indirecta que se utiliza para fracturas no reducibles, se reubica los fragmentos principales intentando conservar la biología y alineando la extremidad, se puede utilizar aguja intramedular, alambre de cerclaje, o un distractor óseo (Fossum., 2019).

### **Mecánica de inmovilización**

Para la elección de mecanismos de fijación y reducción<sup>14</sup> de la fractura se debe de considerar los factores mecánicos, biológicos y clínicos que pueden afectar la pronta reparación ósea, los factores mecánicos como anteriormente se explicó son aquellos que van a estar relacionados con la estabilidad de la fractura, afectada por las fuerzas ya descritas (músculos, movimiento, tendones, etc.) (Santoscoy., 2008; DeCamp *et al.*, 2015). Así como también el suministro extra-óseo de sangre y células inflamatorias, considerando que entre menos contando directo con el hueso exista con la placas, menor será el efecto en la vasculatura, una fijación intramedular tendrá un 60 -70 % de interferencia en el suministro de sangre a corto plazo, por lo tanto, entre menor sea la invasión menor será la interferencia en la vascularización.

Los sistemas de fijación tienen que soportar las fuerzas de compresión, flexión y torsión ejercidas por el peso del animal y por los músculos, para que el tratamiento de la fractura sea eficiente debe contrarrestar las fuerzas ejercidas sobre el hueso, impidiendo la angulación, desplazamiento y la rotación, el método de inmovilización debe de tener como objetivo una fijación estable continua, debe permitir el movimiento y el uso de la mayoría de las articulaciones posibles durante la curación (DeCamp *et al.*, 2015).

---

<sup>14</sup> Es el proceso activo de reposición de los fragmentos de hueso en la posición anatómica, puede ser de manera cerrada con manipulación y tracción o abierta mediante cirugía.

## **Técnicas de fijación**

La técnica ideal de fijación debe tener tres características estabilidad desde el momento de la aplicación, permitir el movimiento del paciente y permitir el uso de cuantas articulaciones sea posible, se pueden clasificar en férula de extremidad (yeso, férulas), férula ósea (clavo intramedular, placas ortopédicas, fijador esquelético) y de compresión (cerclaje, alambre de banda de tensión, placa de compresión), todas las técnicas deben de considerar el tiempo de curación, por lo tanto se debe de considerar el movimiento que tendrá el hueso debido a la flexibilidad en yesos o férulas, clavo intramedular, las técnicas que impliquen compresión utilizan la fricción generada por los implantes para generar la estabilidad, la compresión puede ser estática o dinámica (cambia de acuerdo a la carga de la extremidad), la tensión generada por los fragmentos óseos es transformado en fuerza de compresión por el alambre de cerclaje o la placa (DeCamp *et al.*,2015).

### **Clavo intramedular**

La propiedad que distingue al clavo intramedular es la resistencia a la flexión, debido a la circunferencia, los clavos soportan bien la flexión si se escoge el diámetro adecuado y se realiza el anclaje distal y proximal. Tiene como desventaja la poca resistencia a la compresión axial, y la fuerza de rotación, de poca utilidad en fracturas conminuta como único tratamiento, un diámetro muy grueso genera fricción y problemas de irrigación lo que demora la recuperación y un diámetro muy delgado no genera la estabilidad necesaria para la unión. En caso de fractura oblicua o conminuta es necesario el uso de cerclajes como apoyo para evitar el colapso de la fractura. El clavo debe tener un radio de entre el 60 y 70 % del radio del canal medular (Santoscoy., 2008; DeCamp *et al.*,2015; Gemmill *et al.*, 2016).

Clavo cerrojado indicado para animales pesados, la estabilidad está dada por los tornillos anclados al clavo intramedular contra las fuerzas de torsión y el doblamiento.

Cerclajes y hemicerclajes son una técnica auxiliar de soporte para fracturas en huesos largos los cuales evitara la rotación o el colapso, el alambre se ajusta a la circunferencia del hueso produciendo compresión (Santoscoy, 2008; DeCamp *et al.*,2015; Gemmill *et al.*, 2016).

### **Fijación esquelética**

El fijador externo debe de ser tan estable y rígido como lo es el hueso sano, para que el fijador sea el adecuado se debe de considerar la distribución de cargas que tendrá que soportar, debe ser lo suficientemente fuerte para evitar las fuerzas de tensión evitando la separación de los fragmentos y en el caso contrario no debe de evitar que los fragmentos se aproximen. Este tipo de fijación puede ceder ante cuatro tipos de fuerzas básicas; carga axial (no soporte la carga, generando una compresión entre los fragmentos) flexión tanto antero posterior como lateral (se desvía hacia la estructura de fijación y paralelamente respectivamente) y la torsión (Chico *et al.*, 2012; DeCamp *et al.*,2015; Fossum, 2019).

Se logra una inmovilización más estable por los distintos puntos de apoyo, se recomienda para fracturas expuestas (grado III), contaminadas e infectadas, que exista una quemadura grave de piel, estables e inestables, conminutas, uniones retardadas o procesos sin unión o como auxiliar con un clavo intramedular, la estabilidad va a depender del tipo de fijación, existen tres tipos: unilateral (uniplanar o biplanar), bilateral y uniplanar y el tercer tipo es una combinación de uniplanar con un montaje bilateral y biplanar. Esta técnica no es recomendada para fracturas de fémur por problemas de unión. No recomendado para fracturas articulares, ni pelvianas (Chico *et al.*, 2012; DeCamp *et al.*, 2015; Santoscoy, 2008).

Estos sistemas se van a adaptar a las necesidades mecánicas iniciales y pueden modificarse de acuerdo con las necesidades de consolidación, las características del esqueleto y las agujas van a depender de la rigidez y fuerza requerida para soportar las cargas axiales, de flexión y rotación. Se va a adaptar a las necesidades de acuerdo con las características de los componentes como las agujas (tamaño, largo tipo y número), el material de la barra conectora y la configuración del armazón (biplano, bilateral, unilateral). Recomendado como tratamiento exclusivo para fracturas incompletas o mínimamente desplazadas y localizadas exclusivamente en la diáfisis de huesos largos, con animales jóvenes y de temperamento tranquilo (DeCamp *et al.*, 2015; Fossum, 2019; Santoscoy, 2008).

Constituyen una técnica óptima para casi cualquier fractura. Habitualmente se utiliza en fracturas de radio y tibia por el mínimo recubrimiento muscular medial, facilitando la inserción de los clavos, su valor terapéutico en fracturas conminuta o pérdida de tejido blando está relacionada con la poca invasión en comparación de otras y permite conservar la circulación sanguínea en el área de la lesión. Constituidos básicamente por tres elementos: los clavos que penetran los fragmentos óseos, barras (dan rigidez a la estructura) conectadas a los clavos y tornillos o rótulas, también se puede utilizar masilla epóxica para unir las barras y los clavos. Las características de rigidez del fijador, su capacidad de soportar cargas de presión, compresión, flexión y rotación está determinada por sus componentes, clavos (tipo, tamaño, número, localización y longitud), el material de la barra conectora y la conformación del marco (unilateral, bilateral), el diámetro del clavo aumenta su rigidez, pero no debe exceder el 25 % del diámetro óseo. Otro factor que influye en la rigidez es el número de clavos utilizados en los segmentos de la fractura (Cruz *et al.*, 2016; Fossum, 2019; Chico *et al.*, 2012; Pericchi, 2015).

### **Placas ortopédicas**

Las placas ortopédicas se van a clasificar de acuerdo a la función que ejerce ya sea compresión, protección, sostén, refuerzo (primario y secundario) y placas especiales microplacas y mini placas, de acuerdo al material podemos encontrar placas de acero inoxidable y titanio, la clasificación y selección de la placa está relacionada por el

número de orificios y el tamaño de los tornillos que la fijaran que a su vez estará definido por el peso del paciente, la ubicación de la fractura y el diámetro del hueso.

- Compresión se utiliza en fracturas transversas u oblicuas cortas, no es adecuado para fracturas conminutas, la configuración de esta placa genera una compresión axial evitando la tensión mediante los orificios ovales.
- Protección se utiliza para neutralizar fuerzas de tensión, rotación, compresión o tracción ejercidas sobre la línea de fractura, reduciendo y estabilizando por compresión mediante tornillos o alambres de cerclaje.
- Sostén o puente se utilizan cuando se requiere sobrepasar un defecto diafisario previamente rellenado con injerto de hueso, mantiene la longitud del hueso cuando no hay reducción de la fractura o se han perdido fragmentos de hueso, la placa debe adaptarse al hueso, tiene la función de conducir y sostener no comprimir, evitando que la fractura colapse, mientras se remodela el hueso con hueso nuevo, no debe utilizarse bajo tensión.
- Refuerzo primario se utilizan junto con otro implante ortopédico en contacto directo, recomendados para fracturas conminutas, con pérdida de hueso, en fracturas donde se requiere de una fijación rígida, fracturas diafisarias en hueso largos, apófisis espinosas.
- Refuerzo secundario también se combina con otros implantes ortopédicos, pero no se unen, por ejemplo, una fijación externa o un clavo intramedular (Santoscoy, 2008; DeCamp *et al.*, 2015; Gemmill *et al.*, 2016).

### **Vendajes, yeso y férulas**

Los yesos, férulas y vendajes también denominados como "dispositivos de fijación de coaptación", se logra simplemente inmovilizando los músculos o transmitiendo fuerzas de compresión a las estructuras óseas por medio de los tejidos blandos interpuestos. Dicha presión debe distribuirse uniformemente por toda la estructura para evitar la estasis circulatoria y la inflamación. La colocación de yeso, férulas y vendajes por sí solos están recomendadas sólo en caso de una reducción cerrada (una fractura alineada y que mantenga el contacto entre extremos de un 50 %), recordando que de acuerdo a la fractura puede deformarse por los músculos, para colocarlos se debe posicionar al animal de cubito lateral (Ramos-Maza *et al.*, 2016; Santoscoy., 2008).

Vendajes está definido como rollo de tela que se puede colocar de distintas maneras con la finalidad de proteger o inmovilizar, existen varios tipos de vendajes:

Vendaje Robert Jones un vendaje de compresión o de traslado, tiene como objetivo el soporte, se emplea como inmovilización temporal, no se recomienda en articulación húmero-radio-ulnar, reduce la formación de edema, estabiliza la fractura lo que evita un mayor daño a los tejidos blandos.

Vendaje de Ehemer está diseñado para sostener en flexión el miembro pélvico, no inmoviliza la articulación coxofemoral, permite flexión y extensión, generalmente se utiliza en luxaciones coxofemorales, en cuanto a fracturas se utiliza posterior a la reducción de las fracturas de la cabeza del fémur.

Vendaje de Velpeau o cabestrillo de hombro inmoviliza la articulación escapulohumeral, evita el apoyo del miembro, inmoviliza fractura de escápula, fracturas incompletas de la metáfisis o diáfisis proximal del húmero (Santoscoy., 2008; DeCamp *et al.*,2015).

Férulas son dispositivos ortopédicos empleados para inmovilizar, limita el movimiento o estabiliza ya sea de manera principal o auxiliar del método de fijación interna, férulas de captación se trata de amoldar el material a la región a inmovilizar, están indicadas para inmovilizar fracturas distales al codo o rodilla, es necesario anestesiarse para la relajación completa del músculo y la reducción cerrada de la fractura como la férula Mason y Spica (Santoscoy,2008). La desventaja que presenta es el espacio existente entre la fractura y la férula, dependiendo del hueso puede ser o no estable (Ramos-Maza *et al.*, 2016; DeCamp *et al.*,2015).

Los yesos o escayolas rodean completamente la extremidad, puede ser el único método de estabilización o como complemento de un sistema interno, puede ser de yeso de París, fibra de vidrio (visible en radiografías) o de polipropileno impregnado de una resina que se activa con agua (material rígido y menos frágil), en fracturas estables es una buena opción, no se recomienda su uso de manera prolongada. Mecánicamente si es colocada adecuadamente van a inmovilizar las articulaciones cercanas a la fractura contrarrestando fuerzas de rotación y flexión, un yeso correctamente colocado no interfiere con las fuerzas axiales, a diferencia de otros sistemas la estabilización no es rígida. No debe colocarse en fracturas de húmero o fémur, solo son útiles en fracturas distales radio, ulna, cúbito, metacarpos, metatarsos, debe asegurarse que el yeso no quede flojo, ni muy ajustado (Fossum, 2019; DeCamp *et al.*,2015; Santoscoy,2008).

### **Intervención de fracturas abiertas**

Es necesario realizar un protocolo antiséptico para eliminar cualquier bacteria en la herida, a diferencia de las fracturas cerradas el tratamiento antibiótico se debe de iniciar lo antes posible, ya que el riesgo de infección aumenta con el shock, el grado de exposición, la hipovolemia y las condiciones particulares del paciente. Las lesiones de primer grado se pueden tratar como fracturas cerradas, en cuanto a las de segundo grado solo el tratamiento inicial es distinto a una fractura cerrada, las lesiones de tercer grado se tratan con fijación externa. Si la fractura es categoría I o II se puede proceder a cerrar, para categoría III es importante no dejar expuestos vasos sanguíneos, nervios y tendones, se debe tener un control sobre la herida hasta que

el tejido de granulación se genere, no se recomienda el uso de clavos intramedular en ninguna de las clasificaciones, la aproximación clínica dependerá del tiempo entre la fractura y la intervención médica, las primeras 6 a 8 hr son decisivas para evitar las infecciones (DeCamp *et al.*,2015; Chico *et al.*, 2012).

### **Reparación de hueso fracturado**

El objetivo de la fijación es la estabilidad del hueso fracturado, procurando la pronta recuperación y la función total, por lo tanto; entre menor sea el espacio entre los fragmentos la estabilidad de la fractura será mejor y tardará menos en generarse el callo óseo, en condiciones de tensión menores de 2% los huecos de cicatrización se dan típicamente en estas lesiones que se caracterizan por medir 1-8 mm. La remodelación del hueso se dará en distintas fases se llevará a cabo una reabsorción de los fragmentos de hueso muerto que inicia al momento de la fractura y termina una semanas después, lo que genera una distancia mayor entre los fragmentos de hueso, por lo que durante las cirugías es importante retirar cualquier fragmento o astilla, la falta de este hueso muerto reduce la presión existente en la fractura, se describen tres fases donde interfieran distintas células del hueso (osteoblastos y osteoclastos), colágeno y proteínas no colágenas, minerales. Las tres fases de la remodelación son la fase inflamatoria, de reparación y de remodelación, la fase inflamatoria inicia inmediatamente después de que la fractura sucede, como resultado de la ruptura de vasos sanguíneos, formando un hematoma y la liberación de factores de crecimiento y citoquinas lo que favorecerá la angiogénesis<sup>15</sup>, este proceso estará limitado por la estabilidad de la fractura, la presencia de plaquetas y factores de crecimiento beta 1 estimularán la producción de hueso nuevo, la proliferación de células osteoprogenitoras inducidas por una cascada de citoquinas, el suministro externo es un factor determinante del tiempo de solidificación del hueso (Wood *et al.*, 2014;Gemmill *et al.*,2016).

### **Objetivos**

Compilar información sobre la biomecánica de las fracturas y sus técnicas de reparación.

Explicar conceptos biomecánicos en el hueso y fracturas y su respectivo método de reparación.

### **Metodología utilizada**

Se realizó una revisión bibliográfica en revistas indexadas y libros de texto mediante buscadores como Pubmed, Sci-ELO, Science direct utilizando las palabras clave; biomecánica, fracturas, técnicas de reparación, fractures, bones, veterinary.

---

<sup>15</sup> Formación de nuevos vasos sanguíneos, necesarios para la curación de heridas.

### **Actividades realizadas**

Se realizó una revisión, selección y recopilación bibliográfica sobre la biomecánica de las fracturas y sus métodos de reparación.

### **Objetivos y metas alcanzadas**

Recopilación bibliográfica sobre la biomecánica de los distintos tipos de fracturas y las técnicas quirúrgicas aptas para cada una de las fracturas que permitirán una recuperación adecuada y rápida. Explicando de manera clara la biomecánica de huesos, fracturas y fijaciones.

### **Resultados discusión y conclusión**

De acuerdo con Gemmill (2016) Laffosse, *et al.*, (2104) y otros existe una correlación entre la evaluación correcta tanto de la biomecánica de la fractura, la técnica de reparación con el pronóstico de recuperación del paciente, una elección correcta de los elementos de osteosíntesis de acuerdo a la fractura y las necesidades de resistencia mecánica para la estabilidad correcta de la fractura permitirá la correcta recuperación (Pimbosa-Ortíz,2021; Holweg. *et al*,2020), para Adagio L, y compañía así como para Fossum se debe realizar una aproximación distinta, en animales inmaduros ya sean fracturas completas, incompletas o fracturas que comprometan la placa de crecimiento y el área articular, estas últimas suelen afectar el pronóstico, por otro lado no suelen presentar fracturas completas a diferencia de los animales adultos, por los que sería contraproducente el realizar una aproximación y tratamiento como si se trataran de un animal completamente desarrollado, cada caso y cada fractura son distintas por lo que no es oportuno considerar una solución universal para todas las fracturas.

“NO HAY FRACTURAS, HAY ANIMALES FRACTURADOS”, no se puede intervenir una fractura como algo aislado, se debe de considerar los factores que involucran al paciente como los biológicos, físicos y mecánicos, factores relacionados con el propietario como los económicos, de disponibilidad de tiempo y atención, por lo tanto el conocimiento sobre las técnicas de fijación no solo permite seleccionar la adecuada, sino combinarlas de manera exitosa y provechosa, si se considera todo lo anterior se puede pronosticar de manera positiva el caso. (Adagio *et al*, 2012; Audisio *et al.*, 2010)

Concluyendo que el estudio y el entendimiento de la biomecánica y sus conceptos básicos como resistencia, elasticidad, estrés y rigidez en los huesos y materiales en la ortopedia, y las técnicas de reparación permiten un correcto tratamiento de acuerdo con las necesidades individuales.



## Recomendaciones

En base a la información recopilada en este informe se pone a consideración del lector y la comunidad educativa investigar sobre otros aspectos relacionados con la biomecánica de los huesos, las fracturas y sus técnicas de reparación dentro del área de la veterinaria, para mejorar los tratamientos y los tiempos de recuperación, así como también las técnicas en fracturas específicas.

## Literatura citada

Adagio L, Hierro J, Hagge M, Lattanzi L, Schieda F, Sanfilippo S, Wheeler J. Fractura de los huesos largos en caninos inmaduros Rev Ciencia Veterinaria, 2002; 4(1):57-67.

Audisio SA, Vaquero P, Torres P, Verna E. Tratamiento de una Fractura Salter-Harris de Tibia Distal mediante Empleo de un Fijador Esquelético Externo Híbrido, Rev Ciencias veterinaria 2010; 12(1): 26- 32 ISSN: 1515-1883

Bhargava MK, Singha R, Chandrapuria VP, Shahi A, Swamy M, Shukla PC. Fracture Occurrence Pattern in Animals Journal of Animal Research. 2015;5(3):611-616. DOI: 10.5958/2277-940X.2015.00103.5

Caeiro JR, González P, Guede D. Biomecánica y hueso(I): conceptos básicos y ensayos mecánicos clásicos Rev Osteoporos Metab Miner. 2013; 5(1):43-50. <https://dx.doi.org/10.4321/S1889-836X2013000100008>.

Caeiro JR, González P, Guede D. Biomecánica y hueso (y II): ensayos en los distintos niveles jerárquicos del hueso y técnicas alternativas para la determinación de la resistencia ósea. Rev Osteoporos Metab Miner. 2013; 5(2): 99-108. <https://dx.doi.org/10.4321/S1889-836X2013000200007>

Chabra D, Jain R, Karmore SK, Nema S, Shukla BP, Shukla S. Incidence of fracture in dog: A retrospective study. Veterinary Practitioner. 2018; 19(1):63-65.

Chico A, Durall I, Rubio de Francia A. (2012) Traumatología para no traumatólogos. Avepa, formación continua. España.

Cruz AJM, Gaviria CA. (2016) El fijador esquelético externo: aplicación clínica en perros y gatos Rev. Med. Vet. 2016;(32):109-120. doi: <http://dx.doi.org/10.19052/mv.3860>

DeCamp CE, Johnston SA, Dejardin LM, Schaefer SL. (2015) Brinker, Piermattei, and Flo's Handbook of SMALL ANIMAL Orthopedics and Fracture Repair. Missouri: Elsevier.

Fossum WT. (2012) Cirugía en pequeños animales 4 edición, ELSEVIER. Capítulo 31

García-Garduño MV, Reyes-Gasga J La Hidroxiapatita, su importancia en los tejidos mineralizados y su aplicación Biomedica., Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 2006;9(2):90-95

García-Alonso I, Herrero de la Parte B, Cearra I. (2019) FRACTURAS <http://www.oc.lm.ehu.es/Departamento/OfertaDocente/Teledocencia/Leioa/Odonto/Cap%2019%20Fracturas.pdf> consultado el 20 de abril 2021

Gemmill TJ. BSAVA Manual of Canine and Feline Fracture Repair and Management: Vol. Second edition. BSAVA [British Small Animal Veterinary Association]. 2016:16-1, 25, 29-40

González-Chávez MT, Rojas-Hoyos NA, Vega-Rodriguez N, Yrurzun-Estrada C. (2019) Fijación esquelética externa y clavo intramedular en una fractura femoral de un Puma concolor del Zoológico Nacional de Cuba., Revista de Salud Animal.2019;41(1).

Holweg, P., Berger, L., Cihova, M., Donohue, N., Clement, B., Schwarze, U., Sommer, N. G., Hohenberger, G., van den Beucken, J., Seibert, F., Leithner, A., Löffler, J., & Weinberg, A. (2020). A lean magnesium–zinc–calcium alloy ZX00 used for bone fracture stabilization in a large growing-animal model. Acta Biomaterialia.2020; 113(1):646–659. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.06.013>

König HE, Liebich H-G, y Bragulla H. Veterinary anatomy of domestic mammals: Textbook and colour atlas. Stuttgart: Schattauer. 2007;29-41

Laffosse JM y Reina N. Biomecánica del hueso: aplicación al tratamiento y a la consolidación de las fracturas 2014;47(3) [http://dx.doi.org/10.1016/S1286-935X\(14\)68513-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1286-935X(14)68513-0)

Pimbosa-Ortíz E. (2021) Fracturas apendiculares en caninos politraumatizados, complicaciones asociadas y tratamientos actuales South Florida Journal of Development, Miami. 2021;2(2);1942-1954. DOI: 10.46932/sfjdv2n2-096

Pericchi EM. Fijación externa. La herramienta alternativa perfecta. Ortho-tips. 2015;11(1):26-33.

Ramos-Maza E, García-Estrada F, Domínguez-Barrios C, Chávez-Covarrubias G, Meza-Reyes G, Buffo-Sequeira I. Principios básicos para la osteosíntesis, revolución Acta Ortopédica Mexicana.2016; 30(S1): 1-8

Ramos-Maza E, García-Estrada F, Domínguez-Barrios C, Chávez-Covarrubias G, Meza-Reyes G, Buffo-Sequeira I. Biomecánica de la estabilidad. *Acta Ortopédica Mexicana*.2016;30(S1):9-13.

Santoscoy ME, (2008) *Ortopedia, neurología y rehabilitación en pequeñas especies. Perros y gatos*. Mexico: El Manual Moderno.2008;30: 72-92

Sisson S, Grossman J D, Getty R. (2001) *Anatomía de los animales domésticos*. 5<sup>º</sup> Edición. Barcelona Editorial Elsevier.; '22,2, 27

Vaquero P, Torres P, Verna E. Tratamiento de una Fractura Salter-Harris de Tibia Distal mediante Empleo de un Fijador Esquelético Externo Híbrido. *Ciencia veterinaria*.2010; 12 (1)

Wood E, Zenithson Y Ng, Karen MT. Overview of traumatic fractures, *Veterinary Team Brief (University of Tennessee)*.2014.