



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE MEDICINA**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**  
**HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO DE SONORA**  
**DR ERNESTO RAMOS BOURS**

**T E S I S**

**ESTABILIDAD DE LAS FRACTURAS INTRAARTICULARES DE CALCÁNEO,  
MEDIANTE FIJACIÓN EXTERNA, ESTUDIO BIOMECÁNICO**

**PRESENTA:**

**Dr. Renato Vázquez Gálvez**

Residente de cuarto año de traumatología y ortopedia

Asesor Médico

**Dr. David Lomelí Zamora**

Asesor Metodológico

**Bio. Nohelia Pacheco Hoyos**

**Hermosillo, Sonora. Julio 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## FIRMAS DE AUTORIZACIÓN

---

**DR. FRANCISCO RENÉ PESQUEIRA  
FONTES  
DIRECTOR GENERAL**  
Hospital General del Estado de Sonora  
Tel (662) 259-25-00  
[rpesqui@gmail.com](mailto:rpesqui@gmail.com)

---

**DR. JORGE ISAAC CARDOZA  
AMADOR  
DIRECTOR MÉDICO**  
Hospital General del Estado de Sonora  
Tel. (662) 259-25-00  
[jicardoza@hotmail.com](mailto:jicardoza@hotmail.com)

---

**DRA. CARMEN A. ZAMUDIO REYES  
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ENSEÑANZA  
E INVESTIGACIÓN**  
Hospital General del Estado de Sonora  
Tel. (662) 259-25-00  
[enseñanzahge@hotmail.com](mailto:enseñanzahge@hotmail.com)

---

**DR. JOSE MANUEL SERRANO BON  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE  
TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA.**  
TEL. (662) 259-25-00, CEL. (662) 113-05-  
14  
[serranobon@yahoo.com](mailto:serranobon@yahoo.com)

---

**DR. DAVID LOMELI ZAMORA  
ASESOR DE TESIS DEL SERVICIO DE  
TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA.**  
TEL. (662) 259-25-00, CEL. (662) 223-12-  
04  
[d\\_lomeli@hotmail.com](mailto:d_lomeli@hotmail.com)

---

**M.C. NOHELIA G. PACHECO HOYOS  
ASESOR DE TESIS DE LA DIVISIÓN DE  
ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN**  
Hospital General del Estado de Sonora  
Tel. (662) 259-25-00, Cel. (662) 113-32-  
49  
[noheliapachecoh@gmail.com](mailto:noheliapachecoh@gmail.com)

---

**DR. RENATO VÁZQUEZ GÁLVEZ  
RESIDENTE DE CUARTO AÑO DE ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGÍA**  
Hospital General del Estado de Sonora  
Tel. (662) 1380751  
[drrenatovazquez@gmail.com](mailto:drrenatovazquez@gmail.com)

## ÍNDICE

Resumen .....	5
Introducción .....	7
Marco teórico .....	7
Descripción anatómica del calcáneo.....	8
Clasificación de las fracturas de calcáneo.....	11
Mecanismo de lesión.....	12
Tratamiento de las fracturas de calcáneo.....	14
Fijación externa .....	15
Ventajas .....	16
Desventajas .....	18
Complicaciones .....	18
Indicaciones .....	18
Diseño y colocación de los fijadores externos .....	20
Justificación .....	24
Objetivos .....	25
Objetivo general .....	25
Objetivo particular .....	25
Hipótesis .....	26
Hipótesis nula .....	26
Metodología .....	27
Planteamiento del problema .....	27
Diseño experimental y toma de muestra .....	27
Criterios de selección .....	28
Criterios de inclusión .....	28

---

Criterios de exclusión .....	28
Criterios de eliminación .....	28
Recursos humanos y materiales .....	28
Recursos humanos .....	28
Recursos materiales .....	28
Recursos financieros .....	28
Aspectos éticos .....	30
Descripción general del estudio .....	30
Análisis matemático .....	32
Resultados .....	34
Discusión.....	36
Conclusiones .....	39
Bibliografía .....	40

## RESUMEN

Se realizó un estudio biomecánico experimental, en cinco huesos calcáneo de cadáver, a tres de los cuales se les realizaron trazos de fractura intraarticulares (carilla subastragalina) en el corte coronal, sagital y mixto. Los otros dos se dejaron intactos para realizar la prueba de carga catastrófica hasta el estallido. A los calcáneos fracturados se les colocó un fijador externo unilateral uniplanar de una barra roscada de acero inoxidable de 5 mm de diámetro y 10 cm de longitud; con tres clavos Schanz, sobre la superficie lateral del calcáneo y por debajo de la línea media longitudinal. Uno de los clavos de 4.5 mm de diámetro, en la tuberosidad posterior del calcáneo, otro clavo de 4.0 mm de diámetro a 3 mm por debajo del seno del tarso en dirección al *sustentaculum tali*, y un último de 4.0 mm de diámetro a 5 mm de la carilla articular calcaneocuboidea anterior. Posteriormente, se realizó la reducción manual de las fracturas, se ajustaron opresores y tuercas, y se les aplicó compresión hasta observarse un total contacto y estabilización entre los fragmentos. En un segundo tiempo, se llevaron los 5 especímenes al taller de metal mecánica del Instituto Tecnológico de Hermosillo (ITH), para realizar pruebas biomecánicas en la prensa universal. Posteriormente se sometieron a cargas de compresión progresivas sobre la carilla articular subastragalina en el sitio de origen de las fracturas. La primera carga fue de 49 N (5 kg), hasta alcanzar el inicio del desplazamiento mayor a 3 mm del trazo de fractura; la lisis de la interfase clavo sobre hueso y la falla del hueso en estallamiento, superando al menos los 245 N (25 kg), el cual es un valor promedio de la tracción del tendón de Aquiles sin carga. Para cada uno de los ejemplares

analizados se obtuvo el valor de la fuerza y la deformidad. Todos los modelos toleraron más de 245 N (25 kg) de fuerza, desde 490 N (50 kg) para el desplazamiento de la fractura de trazo mixto, pasando por 85 kg para la lisis de la interfase de clavo hueso para la fractura en dirección sagital, hasta 2060 N (210 kg) para el fallo del hueso en estallamiento. Por lo tanto, con este estudio se observa que el fijador externo con barra roscada, neutraliza las sollicitaciones de la tracción del tendón de Aquiles en un movimiento de cadena cinemática abierta sin carga en calcáneos cadavéricos, sometidos a 245 N (25 kg), probado con un dispositivo de compresión puntual.

## **MARCO TEÓRICO**

### **INTRODUCCIÓN**

Las fracturas del calcáneo representan un reto para el cirujano ortopedista debido a la anatomía especial de éste hueso. La cual, presenta un gran porcentaje de su superficie cubierto de cartílago hialino y hueso esponjoso abundante rodeado de hueso cortical delgado. Además, cuenta con escasos puntos de óseos firmes, cuya distribución dificulta la colocación de material de osteosíntesis en ellos.

Al sufrir una caída de una altura a diferente nivel que la que muestra el plano de bipedestación e impactar el suelo con los talones, se produce una fractura compleja, intraarticular y de difícil fijación. Todo esto, se debe a la calidad y cantidad de hueso esponjoso comprimido y destruido, semejando un estallamiento del calcáneo.

En la actualidad el manejo de las fracturas de calcáneo, continúa siendo un problema no resuelto. Por lo que se considera prudente reiniciar el replanteamiento de este problema, desde las bases experimentales, con el fin de encontrar una respuesta o solución. Se consideró que el fijador externo puede contener los fragmentos primario (coronal) y secundario (sagital) y, eventualmente reducir las fracturas del calcáneo. Aunado a que produce escasa lesión de partes blandas sin comprometer la vascularidad, además de permitir la revisión fácil de heridas.



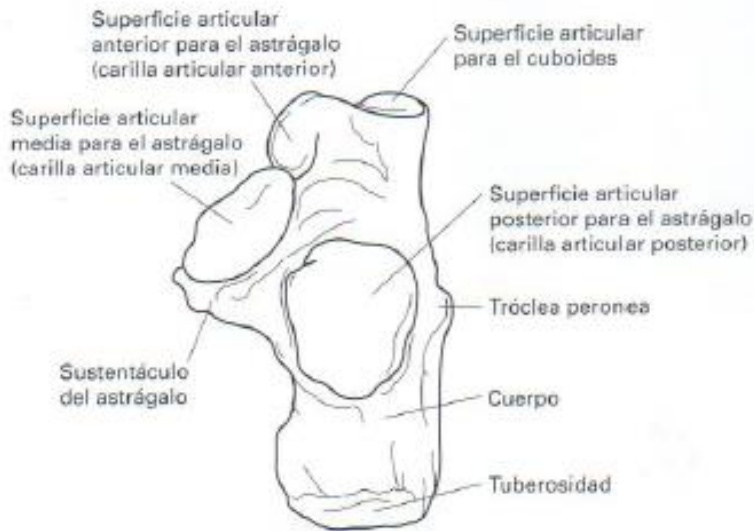
## ANTECEDENTES

El calcáneo es el hueso del tarso que con más frecuencia se lesiona, constituyendo el 60% de las fracturas del pie, y aproximadamente del 1% al 2% de todas las fracturas (Canale, 2004). Las fracturas del calcáneo pueden ser extraarticulares o intraarticulares, estas últimas representan un 75% de la totalidad (Tomesen, 2011).

Las fracturas de calcáneo se asocian a soluciones de continuidad de la columna vertebral en un 10%, 5% a fracturas de calcáneo bilaterales, 5% a fracturas expuestas y 25% a lesiones asociadas de la extremidad inferior, como mesetas tibiales y fracturas de pelvis (Thordarson, 1998). Además, se asocian a síndrome compartimental en un 10% (Myerson et al., 1993).

### Descripción y arquitectura anatómica del calcáneo

El calcáneo es el hueso más grande y fuerte del pie. Transmite casi todo el peso corporal del astrágalo al suelo y tiene cuatro carillas articulares mantenidas por una estructura de hueso corticoesponjoso (Moore, 2010). Su parte posterior contiene la carilla posterior de la articulación subastragalina y la carilla central del *sustentaculum tali* (Figura 1). Además, está separada de la porción anterior por el seno del tarso y el canal tarsiano. La pared anterior contiene la pequeña carilla articular de la articulación subastragalina y otra, en silla de montar, de la articulación calcaneocuboidea (Rüedi, 2008).

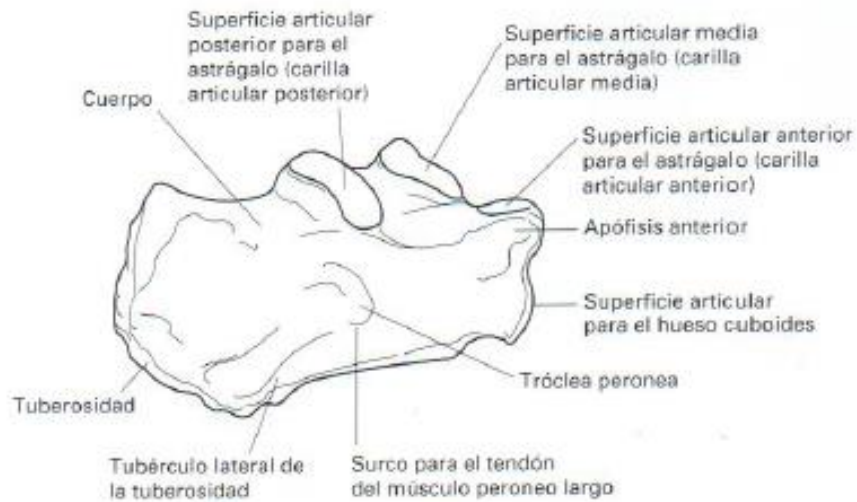


**Figura 1. Esquema de la anatomía superior o axial del calcáneo (Rockwood, 2006)**

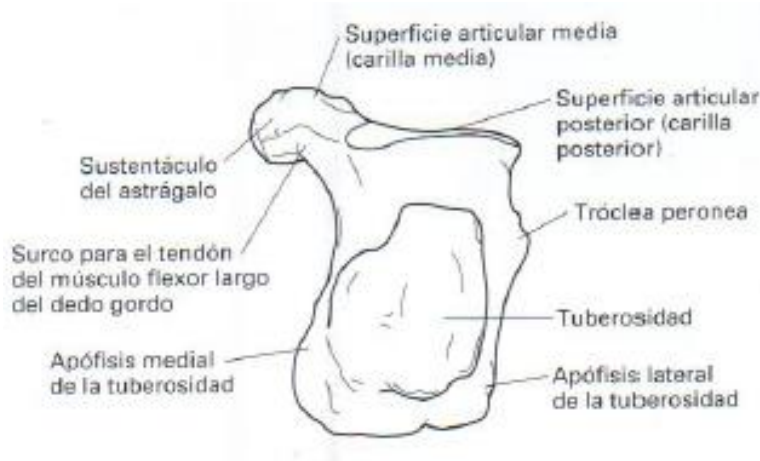
La anatomía lateral del calcáneo (Figura 2) es importante porque suele ser la zona expuesta más frecuente para fijar la fractura durante el abordaje quirúrgico (Rockwood, 2006). La cara situada en el extremo posterior del calcáneo se llama tuberosidad (Figura 3) y justo distal a la tuberosidad, se encuentra el cuerpo del calcáneo. La apófisis lateral del calcáneo es la parte del borde lateral superior que se extiende hacia el hueso navicular. La pequeña apófisis situada en la zona lateral plantar se denomina tubérculo lateral de la tuberosidad y es el punto de origen de la aponeurosis plantar y de otros músculos.

En la zona lateral o externa del calcáneo se encuentra el surco para el tendón del músculo peroneo largo, justo por debajo de la tróclea peroné (apófisis troclear). En la zona media de la parte lateral de éste hueso puede verse el borde lateral de la carilla articular posterior. Distalmente en la superficie lateral, se

observa la superficie articular de la articulación calcaneocuboidea (Rockwood, 2006).



**Figura 2. Esquema de la anatomía lateral del calcáneo. Obsérvese especialmente la anatomía de la carilla o superficie articular posterior, que exige una reducción y fijación precisas en casos de fracturas intraarticulares. Obsérvese también la apófisis anterior (Rockwood, 2006).**



**Figura 3. Esquema de la anatomía coronal del calcáneo al nivel distal del sustentáculo del astrágalo (Rockwood, 2006).**

En la cara medial del calcáneo (Figura 4) se encuentran las carillas articulares media y posterior, además del *sustentaculum tali*, que es la extensión medial del calcáneo distal y soporta las carillas articulares media y anterior. Debajo del *sustentaculum tali* se encuentra el surco para el tendón del músculo flexor largo del pulgar (Rockwood, 2006).

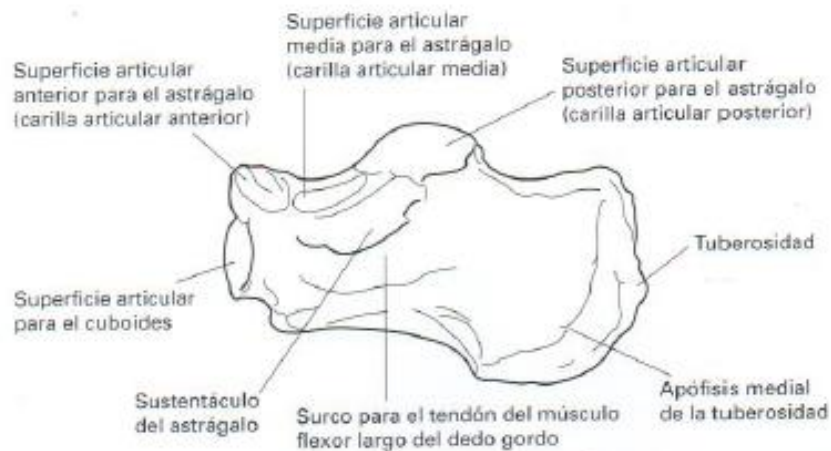


Figura 4. Esquema de la anatomía medial del calcáneo. Obsérvese la posición del calcáneo con relación a las carillas articulares media y posterior (Rockwood, 2006).

### Clasificación de fracturas intraarticulares de calcáneo

Es difícil clasificar las fracturas de calcáneo debido a la complejidad y conminución de sus fragmentos y, en cierto modo, debido a los problemas que origina la comprensión de su anatomía patológica (Rockwood, 2006). Las clasificaciones pueden dividirse en tres grupos principales: 1) basadas en radiografías simples (Essex-Lopresti, 1952; Rowe et al., 1963; Soeur y Remy, 1975; Stephenson, 1987; Paley y Hall, 1994), 2) basadas en tomografía computarizada (Crosby-Fitzgilbbons, 1990; Sanders, 1998; De Souza, 1993) y 3) basadas en tomografía

computarizada y radiografías simples como *Orthopaedics Trauma Association* (1996).

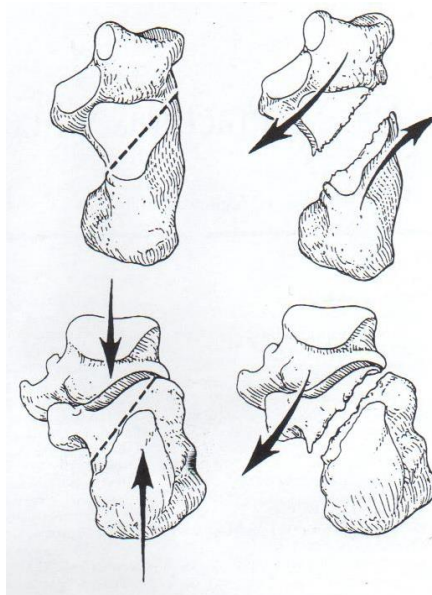
### **Mecanismo de lesión para producir una fractura de calcáneo**

Las lesiones de calcáneo resultan de un mecanismo de carga axial, como el que se produciría en una caída a distinto nivel, práctica de deportes de contacto o en accidentes automovilísticos de alta energía (Canale, 2004).

El punto de apoyo del calcáneo se encuentra en situación lateral respecto al eje de carga de la extremidad inferior. Por lo tanto, si se aplica una carga axial a la carilla articular posterior del calcáneo, a través del astrágalo, las fuerzas de cizallamiento se dirigirán a través de la carilla articular posterior, hacia la pared medial del hueso. Por lo general, se produce una fractura (línea de fractura primaria) que se extiende desde la parte proximal y medial de la tuberosidad posterior del calcáneo (Figura 5), a través de la pared anterolateral, hasta la vecindad del ángulo crucial de Gissane. La característica más variable de este trazo de fractura es su localización en la carilla articular posterior del calcáneo. Puede situarse en el tercio medial, próximo al sustentáculo del astrágalo; en el tercio central, o en el tercio lateral, cercano a la pared lateral (Canale, 2004).

Si la carga axial continúa actuando, pueden suceder dos cosas: que una espícula medial unida al sustentáculo del astrágalo continúe desplazándose hacia la piel medial del talón, o que aparezcan diversos trazos de fractura secundarios a nivel de la carilla articular posterior (Canale, 2004). Con frecuencia existe un trazo anterior hacia la tuberosidad anterior del calcáneo que puede alcanzar la

articulación calcaneocuboidea. Los demás trazos de fractura de la carilla posterior se clasifican en dos tipos: si el trazo de fractura que da lugar al fragmento articular posterior termina entre la superficie articular y la inserción del tendón de Aquiles, la lesión se denomina de tipo depresión articular. Si la lesión termina en un punto distal a la inserción del tendón de Aquiles, se denomina tipo fractura en lengua (Essex-Lopresti, 1952; Canale, 2004).



**Figura 5. Trazo de fractura primario como consecuencia de una fuerza de cizallamiento (Canale, 2004).**

A medida que el astrágalo empuja a la carilla articular posterior y al fragmento subyacente contra el cuerpo del calcáneo, la cortical lateral se desplaza hacia afuera. Con lo anterior se estrecha el espacio para los tendones peroneos, llegando en ocasiones a contactar el peroné. Cuando la fuerza cesa, el astrágalo recupera su posición, quedando un fragmento talámico deprimido y una espícula medial retraída en las partes blandas (Canale, 2004).

## **Objetivos en el tratamiento de las fracturas de calcáneo**

Los objetivos de cualquier tratamiento de las fracturas de calcáneo son: 1) restaurar la congruencia de la carilla articular posterior de la articulación subastragalina, 2) restaurar la altura del calcáneo (ángulo de Böhler), 3) reducir la anchura del calcáneo, 4) descomprimir el espacio subperoneal de los tendones de los peroneo, 5) realinear la tuberosidad posterior a una posición en valgo, y 6) reducir la articulación calcaneocuboidea si se encuentra fracturada (Tomesen, 2011).

## **Estado actual en el tratamiento de las fracturas intraarticulares de calcáneo**

El tratamiento para fracturas intraarticulares de calcáneo se divide en cuatro grandes rubros: 1) tratamiento cerrado el cual a su vez se subdivide en sin reducción más movilización precoz y reducción cerrada; inmovilización a corto plazo y movilización precoz dentro de lo razonable, 2) técnica semiabierta como la reducción cerrada tipo Essex-Lopresti con fijación y manipulación con aguja percutánea, 3) procedimientos quirúrgicos abiertos utilizando abordaje lateral, abordaje medial, así como la combinación de abordaje lateral y medial, y 4) artrodesis subastragalina primaria (Tomesen, 2011).

La tendencia actual del manejo de las fracturas de calcáneo intraarticulares está orientada hacia el aspecto quirúrgico, ya sea con fijación con tornillos percutáneos o fijación con placa anatómica (Potter, 2009). Sin embargo, se han obtenido resultados desfavorables con respecto a la reducción y estabilización debido a la calidad ósea de este hueso y a la complejidad de la fractura en un

15.4-30% de los casos (Poeze, 2008; Zhang, 2014). Lo anterior presenta complicaciones como: problemas de cicatrización (necrosis cutánea o del colgajo, dehiscencia), infección en 1.8-8.9% (Poeze, 2008), lesión del nervio sural (abordaje lateral), artrodesis subastragalina en un 2.5% (Poeze, 2008) y lesión vasculonerviosa del tibial posterior (Tomesen, 2011).

### **Fijación externa**

Se le denomina fijación externa a la técnica que los cirujanos utilizan para fijar las fracturas por medio de clavos o agujas colocados en los extremos óseos y conectados entre sí por barras externas. Este ensamblaje mantiene los fragmentos en la posición deseada (Rookwood, 2006).

El método de fijación externa, nos proporciona estabilidad y rigidez. Para su mayor rigidez, es necesario que la distancia de los clavos schanz esté lo más próxima al trazo de fractura. La barra entre más próxima al hueso, proporciona mayor rigidez, en cuanto el número de barras, dos es mejor que uno, y es mejor la configuración unilateral, en V o triangular.

La fijación externa requiere menos días de hospitalización y su costo es mucho menor. Además de que no requiere reintervención quirúrgica para el retiro del fijador. Se considera que las fracturas diafisarias expuestas tipo I y II de Gustilo-Anderson, pueden ser tratadas en forma definitiva con un fijador externo.

La estabilidad inherente del dispositivo utilizado, la dinamización de la fractura, la técnica quirúrgica, la adhesión a principios quirúrgicos básicos y un esfuerzo por lograr una reducción anatómica, incluyendo la compresión axial y de



solicitaciones en flexión, hacen del fijador externo una opción de tratamiento definitivo.

Con respecto a la calidad de la barra lateral rígida suelen presentar mayor dificultad en el ajuste, y el cirujano debe tener cuidado para garantizar una reducción satisfactoria antes de aplicar el fijador externo. Una buena reducción inicial es importante, no importa qué tipo de fijador se aplica, ya que es a menudo sorprendentemente difícil de lograr una reducción secundaria si la reducción primaria no tiene éxito. Por otra parte, el marco debe mantenerse el tiempo suficiente para evitar la pérdida secundaria de reducción de la fractura, notando un significativo tiempo de curación más rápido en pacientes con reducciones exactas en comparación con fracturas con más de 2 mm de traslación desplazamiento (Beltsius, 2009).

### **Ventajas de la fijación externa**

Los principios de la fijación externa han permanecido constantes. El fijador externo continúa utilizándose porque:

1. Proporciona una fijación estable con bajo riesgo en fracturas o articulaciones
2. Es regulable, permitiendo la corrección en la traslación, rotación, angulación y en el eje.
3. Permite el acceso a la extremidad para facilitar el cuidado de la herida y reconstrucción quirúrgica.

El método proporciona una fijación externa de los huesos en los casos en que otras formas de inmovilización, por una u otra razón, son inapropiadas. Esto es más frecuentes en fracturas expuestas II y III en las cuales el yeso u otros medios de fijación no permitían el acceso adecuado para el tratamiento de las lesiones de partes blandas, y en las cuales la exposición y disección para la colocación del dispositivo interno desvitalizaría y contaminaría áreas mayores aumentando así el riesgo de infección o la pérdida de la extremidad.

Con la fijación externa es posible la compresión, neutralización o la distracción fija de los fragmentos de la fractura, según dicte la configuración de la misma. Las fracturas transversas pueden ser comprimidas de manera óptima, se puede mantener la longitud de las fracturas conminutas mediante agujas en el fragmento proximal y distal, o se puede realizar una distracción fija en fracturas con pérdida de hueso en uno de los huesos pareados en los proceso de alargamiento.

El método permite además la vigilancia del miembro y del estado de la herida, cicatrización y estado neurovascular, la viabilidad de los tejidos y la tensión de los compartimientos, así como un tratamiento simultáneo y agresivo del hueso y los tejidos blandos (Canale, 2004). También nos ayuda a mantener la movilidad inmediata de las articulaciones, a disminuir el edema y a la nutrición de las superficies articulares, retrasa la fibrosis capsular y la rigidez articular, atrofia muscular y la osteoporosis. Además se puede emplear como una fijación rígida en fracturas agudas o en pseudoartrosis infectadas y los fijadores externos modernos pueden proporcionar una rigidez no lograda por otros métodos. Y por

último proporciona rigidez en artroplastias fallidas o infectadas en las cuales no es posible una construcción de la articulación o en las que se pretende conseguir una artrodesis (Rockwood, 2004).

### **Desventajas y complicaciones de la fijación externa**

Durante la aplicación de fijadores externos, se requiere una técnica meticulosa para la inserción de los clavos y un cuidado continuo de la piel y de la entrada de los clavos para prevenir infecciones. Los clavos y las barras del fijador pueden ser desde el punto de vista mecánico difíciles de montar para un cirujano inexperto. La barra puede ser aparatosa y el paciente puede rechazarlo por razones estéticas. Además, existe la probabilidad de que se produzca una fractura en el trayecto del clavo y si el paciente no cumple con las indicaciones se pueden alterar los ajustes del fijador (Rüedi, 2008).

El uso extendido de fijadores externos ha dado lugar a una serie de complicaciones singulares. Sin embargo, la observación de los principios básicos y el uso de una técnica adecuada reducen las complicaciones al mínimo. Entre las complicaciones se encuentran: Infección del trayecto de los clavos, transfixión vasculonerviosa, transfixión de músculos o tendones, retardo en la consolidación, síndrome compartimental y refractura (Rockwood, 2004).

### **Indicaciones de la fijación externa**

Las indicaciones de la fijación externa son relativas, cada caso debe ser individualizado. El uso rutinario de fijador externo no está justificado en pacientes

en los que son aplicables otros métodos convencionales comprobados. Las indicaciones se pueden incluir en dos categorías: aceptadas y posibles (Tabla 1) (Andrew, 2010; Eben, 2010).

**Tabla 1. Indicaciones para la colocación de fijadores externos.**

Indicaciones	
Aceptadas	Posibles
Fracturas expuestas grado II y III.	Ciertas fracturas y luxaciones de pelvis.
Fracturas asociadas a quemaduras graves	Pseudoartrosis infectadas.
Fracturas que requieren colgajos pediculados de la otra pierna, injertos libres vascularizados u otros procedimientos reconstructivos ulteriores.	Fijación tras excéresis radical de un tumor con injerto más reemplazo con autoinjerto.
Fracturas que requieren distracción, como fracturas con pérdida ósea significativa o las de huesos pareados.	Fracturas asociadas a reparación neurovascular y fracturas múltiples cerradas.
Alargamiento de extremidades.	Ligamentotaxis.
Artrodesis.	Fijación de fracturas de pacientes con traumatismo craneoencefálico.
Pseudoartrosis o fracturas infectadas.	Fijación de pacientes que requieren traslados frecuentes para pruebas diagnósticas, o tratamientos.

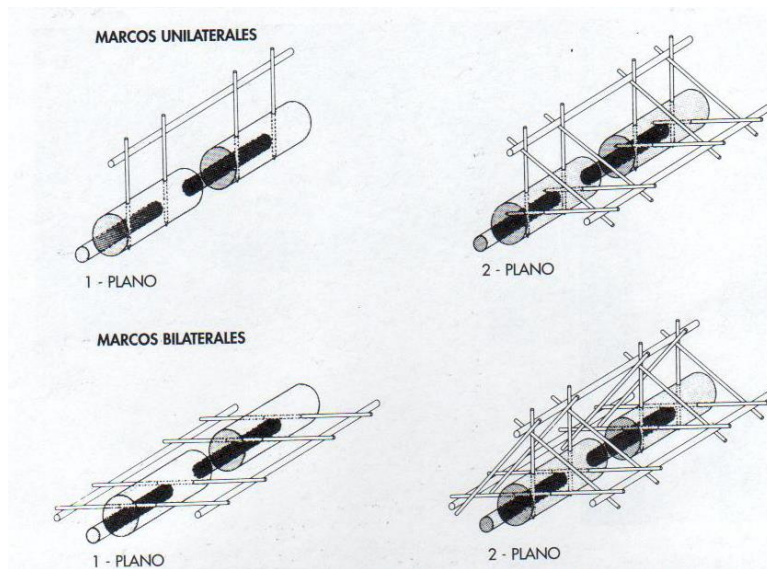
Fracturas de meseta tibial de alta energía, femoral distal o la tibia distal, fracturas en las que hay heridas que impiden que los tejidos blandos den cobertura o que la piel sea adecuada para la reducción definitiva.	Rodilla Flotante.
---	-------------------

### **Diseño y colocación de fijadores externos**

Los fijadores externos están compuestos por un sistema de fijación al hueso en forma de agujas o clavos, articulaciones y barras longitudinales. Behrens (1989) divide los fijadores externos en dos tipos: de aguja o clavos y de anillo. Los fijadores de clavos se subdividen en simples que permiten la colocación independiente de cada aguja individual y los fijadores de cabezales que permiten la colocación independiente de grupos de clavos fijos entre sí. Los cabezales suelen estar conectados a los elementos de soporte a través de articulaciones universales que permiten efectuar ajustes tras la colocación.

Los fijadores de clavos pueden usarse en cuatro configuraciones básicas. Un marco unilateral con un elemento de soporte y clavos en un plano, constituye una configuración unilateral, monoplanar, la adición de un segundo elemento de soporte y un segundo plano de clavos da lugar a una configuración unilateral biplanar Rockwood (2004). La configuración bilateral monoplanar se construye mediante agujas transfixiantes conectadas a sendos elementos de soporte en sus extremos. La suma de un segundo plano de clavos o con mayor probabilidad, de

agujas transfixiantes, genera una configuración bilateral biplanar (Figura 7). Los fijadores de aro consisten en aros parciales o completos conectados mediante barras o elementos articulados. Los anillos se anclan en el hueso mediante hemipines o alambres a gran tensión de 1.5-2mm de diámetro. Aparte de la fijación de las fracturas agudas, se pueden crear elaborados marcos con bisagras para el tratamiento de las pseudoartrosis y consolidaciones viciosas (Rockwood, 2004).



**FIGURA 7. Tipos de fijador externo, según sus planos. Tomado de Campbell, (2004).**

*Acciones.* El fijador externo actúa sobre el tejido blando y la alineación ósea por medio de fuerzas ejercidas por los conjuntos mordazas clavos situados a ambos lados de la estructura anatómica inestable. El diseño de la fijación externa puede variar para producir compresión o distracción y neutralizar los momentos flexores y rotaciones.

*Compresión.* Un marco compresivo puede utilizarse para incrementar la estabilidad de las fracturas transversales, para reducir una fractura anteroposterior pelvica y para conseguir una artrodesis de la rodilla o del tobillo (Rockwood, 2004).

*Distracción o tracción.* Normalmente el fijador externo se aplica con tracción longitudinal. De ésta forma se tensan los ligamentos o el tejido blando facilitando la reducción de las fracturas diafisarias, metafisarias y articulares. Durante la aplicación de fuerzas de distracción, se corriegan las deformaciones angulares y rotatorias hasta lograr la alineación deseada. Clínicamente, la ligamentotaxia se emplea para el tratamiento de fracturas complejas de las mesetas, pilon tibial y distales de radio (Rockwood, 2004).

*Neutralización.* En algunos casos desempeña la misma función biomecánica que una placa de neutralización. Estabilizando las fuerzas que actúan sobre el foco de la fractura. En el caso de la neutralización, la fijación se utiliza normalmente en conjunto con algún tipo de fijación interna.

*Flexión y rotación.* La reconstrucción de la deformidad postraumática, requiere técnicas que corrijan desplazamientos angulares y rotacionales. La técnica Ilizarov utiliza la fijación externa para corregir la deformación gradualmente.

El acero inoxidable se ha utilizado para implantes desde hace más de 50 años. La mejor aleación inoxidable para el uso quirúrgico es el tipo 316L la cual tiene de 17 a 20 % de cromo, de 10 a 14% de níquel y de 2 a 4 % de molibdeno,

muy poco carbono (menos del 0.08 %) mientras que el resto es hierro. Así, en el acero inoxidable el límite elástico puede ser tan elevado como  $875 \text{ N/mm}^2$ . Para implantes que soportan cargas, generalmente se requiere acero inoxidable forjado cuyo límite elástico es de  $210 \text{ N/mm}^2$ .



## **JUSTIFICACIÓN**

Los resultados del manejo conservador o mediante reducción abierta y fijación interna, continúan siendo desalentadores. Esto se debe a la anatomía particular del calcáneo, la cual consiste en hueso esponjoso cubierto por una cortical rígida delgada, asemejando la forma de un cacahuate. Además de estar formado por abundante cartílago hialino articular, presentar escasos puntos óseos firmes y estar rodeado de abundante tejido adiposo e importantes estructuras neurovasculares.

La evaluación y valoración de los puntos óseos del calcáneo amerita una priorización en cuanto al uso de herramientas que tengan la finalidad de estabilizar las fracturas. La presente investigación se apoya en la fijación externa de modelos cadavéricos con el fin de probar la estabilización de las fracturas de calcáneo ante cargas estáticas y dinámicas de compresión. Estudios biomecánicos de este tipo deben ser realizados con la finalidad de generar una nueva línea de investigación para el manejo de estas fracturas.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar la estabilidad de fracturas intraarticulares de calcáneo, de trazo simple (coronal), secundario (sagital) y mixto, con la colocación de fijador externo.

### **Particulares**

Evaluar la carga en compresión catastrófica de un calcáneo.

## **HIPÓTESIS**

La colocación de un fijador externo monoplanar unilateral en modelos de calcáneos de cadáver, con fracturas intraarticulares de trazos primarios (sagital), secundario (coronal) y mixto, logrará la estabilidad ante una carga de compresión de 245 N (25 kg).

## **HIPÓTESIS NULA**

La colocación de un fijador externo monoplanar unilateral en modelos de calcáneos de cadáver, con fracturas intraarticulares de trazos primarios (sagital), secundario (coronal) y mixto, no logrará la estabilidad ante una carga de compresión de 245 N (25 kg), presentando un desplazamiento de 3mm de la línea de fractura.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **Planteamiento del problema**

Las fracturas intraarticulares del calcáneo presentan alta incidencia, asociadas a resultado desalentadores, por lo que su manejo continua siendo un reto. Regularmente van acompañadas de otras lesiones y de daño severo a tejidos blandos. El manejo hasta la fecha no ha cubierto las expectativas para un buen resultado, por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Es capaz el fijador externo de contener los fragmentos primario (coronal) y secundario (sagital) soportando una carga en compresión de 245 N, y eventualmente reducir las fracturas de calcáneo?

### **Tipo de estudio**

Estudio del tipo experimental básico.

### **Tamaño de la muestra y sitio de realización**

Para la realización del estudio se consideraron seis pies de tres pacientes que fallecieron y se encontraban dentro de los criterios de inclusión. El estudio se realizó durante el mes de junio y julio de 2014 en las instalaciones del Hospital General del estado de Sonora y en el laboratorio de metal mecánica del Instituto Tecnológico de Hermosillo.

## **Criterios de Selección**

### **Criterios de inclusión:**

Hueso calcáneo sin antecedentes de enfermedad metastásica ósea.

Hueso calcáneo sin antecedente de fractura previa.

Hueso calcáneo sin antecedente de osteomielitis.

Hueso calcáneo sin malformaciones congénitas.

### **Criterios de exclusión:**

Donador con antecedentes de enfermedades infectocontagiosas.

Donador con enfermedades óseas deformantes congénitas.

### **Criterios de eliminación:**

Hueso calcáneo con fractura accidental durante la colocación del fijador.

Hueso calcáneo con un trazo de fractura mal realizado.

## **Recursos**

### **a) Materiales.**

Por la naturaleza de este tipo de investigación es necesario iniciar la experimentación básica con entidades a las cuales no se les pueda causar dolor, muerte o ningún daño por lo que se tomó la decisión de realizarlo con modelos cadavéricos. Esta alternativa implica que si el resultado es óptimo en términos de

técnica quirúrgica ortopédica, se probara en modelos vivos para poder en un futuro aplicar a pacientes humanos.

Los materiales utilizados fueron cinco modelos cadavéricos de calcáneos, equipo de cómputo, equipo de disección, equipo de oficina, equipo de video HD, equipo de fotografía digital, maquina universal para compresión del taller de metal mecánica del Instituto Tecnológico de Hermosillo, dos llaves españolas de ½", llave Allen 4mm, tres clavos Schanz punta perforante 4.5mm de rosca esponjosa, seis clavos Schanz 4.0mm punta perforante rosca esponjosa, perforador eléctrico.

Fijador externo monoplanar unilateral, que consta de una barra de acero inoxidable de 5 mm de diámetro x 100 mm de largo, tres abrazaderas barra-clavo con opresores y seis tuercas.

b) Humanos.

Un asesor médico y un asesor metodológico, personal del servicio de patología, personal que labora en el área de autopsias, personal del torno y fresado industrial, apoyo de un ingeniero mecánico.

c) Financieros.

Responsabilidad del médico residente.

### **Aspectos éticos**

Durante el procedimiento realizado, se cumplió con los requerimientos de la ley general de salud y de los preceptos éticos a la experimentación con muestras

cadavéricas. Además, se contó con la autorización del departamento de enseñanza e investigación del Hospital General del Estado y se mantuvo el anonimato de los modelos cadavéricos.

## Método

Se construyeron tres modelos de yeso de calcáneos, a los cuales se les desarrollaron trazos de fractura en los cortes coronal, sagital y mixto (Figura 8). Las estructuras de yeso fueron elaboradas de forma manual siguiendo el modelo de clasificación de Essex Lopresti (1952). Posteriormente, las piezas fueron cubiertas con hule latex para mantener su forma anatómica simulando los ligamentos y tejidos blandos de un cuerpo. Finalmente, se le aplicó una carga axial de compresión, con el dedo de la mano, sobre la carilla articular posterior de cada modelo para provocar el desplazamiento esperado de los tres tipos de fractura.

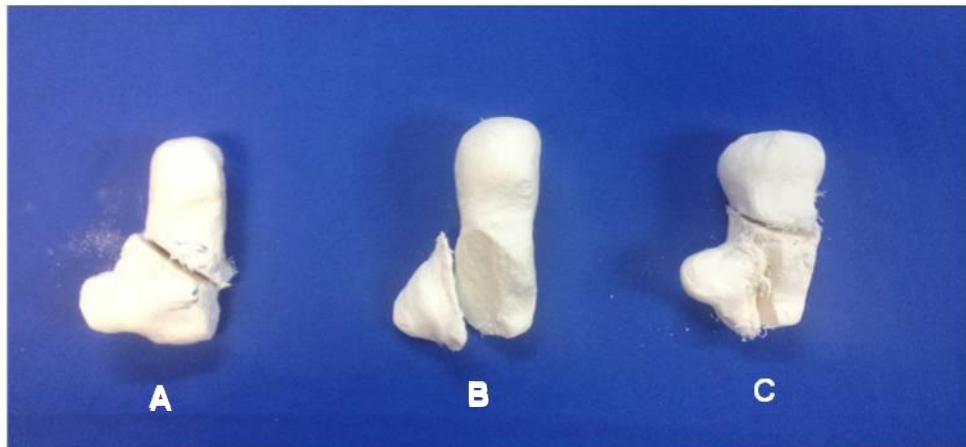
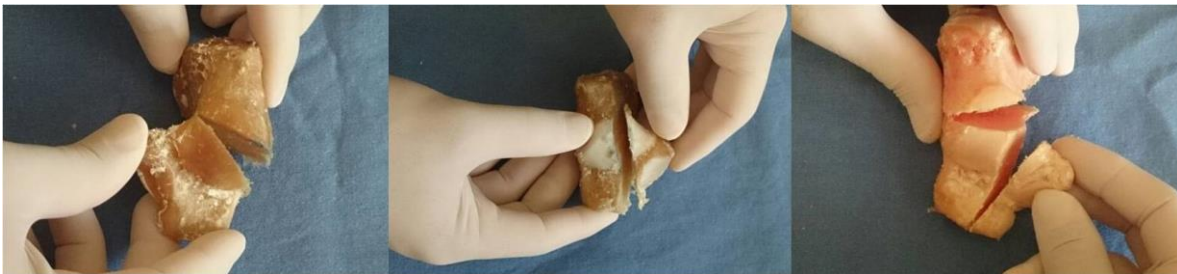


Figura 8. Modelos de calcáneo de yeso donde: A) trazo de fractura coronal, B) trazo de fractura sagital y C) trazo de fractura mixto.

Se prepararon tres modelos cadavérico de calcáneo, liberándolos de todas sus partes blandas y se le practicaron fracturas intraarticulares de trazo primario (coronal), secundario (sagital) y mixto (Figura 9) utilizando una sierra *Stryker*, de acuerdo a la clasificación de Essex Lopresti (1952).

Se realizó reducción manual de la fractura, se presentó el fijador externo de barra uniplanar unilateral en la cara lateral del calcáneo, por debajo de la línea media longitudinal (ecuador). Se colocó una abrazadera en la tuberosidad posterior del calcáneo y se introdujo un clavo Schanz de 4.5mm. En el otro extremo de la barra se colocó otra abrazadera por donde se introdujo un clavo Schanz 4.0mm a la superficie lateral a 5mm de la carilla articular anterior del calcáneo. Posteriormente, se colocó una última abrazadera por donde se introdujo un clavo Schanz 4.0mm a 4mm caudal del seno del tarso en dirección al *sustentaculum tali*. Se ajustaron los opresores de las abrazaderas y las tuercas a la barra, manteniendo la reducción (Figura 10). Se repite la carga axial de compresión sobre la carilla articular posterior, resultando en la estabilidad de la fractura.

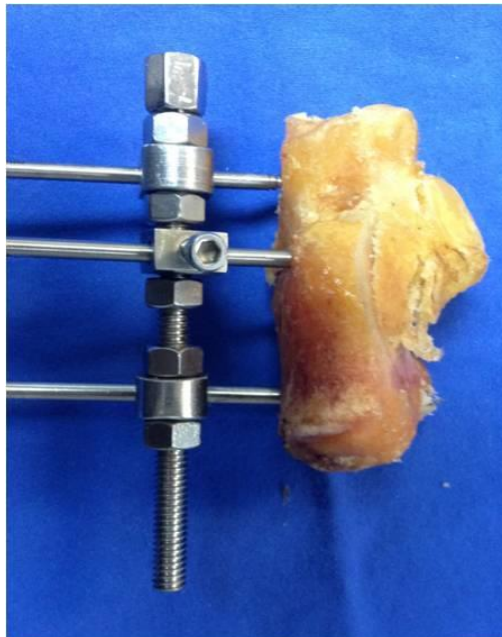


**Figura 9. Fracturas coronal, sagital y mixta realizadas en calcáneos cadavéricos.**



En el laboratorio de metal mecánica del Instituto Tecnológico de Hermosillo, se sometió a una carga axial de compresión sobre la carilla posterior del calcáneo, la cual se realizó en una maquina universal. Se registraron la carga aplicada y la deformidad resultante y se observó el desplazamiento de la fractura y la lisis en la interfase de los clavos Schanz y hueso. Se tomaron fotografías del procedimiento y se filmó por medio de una cámara digital. Para esta prueba se consideró el desplazamiento de la línea de fractura de 3mm, angulación mayor a 30 grados y un contacto menor a 50 %.

Además, en 20 individuos, 15 hombres y 5 mujeres, entre los 20 y 35 años de edad, se realizó pruebas de movimientos activos de cadena cinemática abierta, sin carga, para la flexión plantar del tobillo. Midiendo la fuerza de la flexión plantar con un dinamómetro análogo



**Figura 10. Fijador externo colocado en calcáneo.**

**Variables a observar**

- 1.- Fuerza de compresión antes del desplazamiento de la fractura.
- 2.- Fuerza de compresión antes de la lisis de la interfase entre clavo y hueso.
- 3.- Carga en compresión catastrófica para un hueso calcáneo.
4. Área puntual y esfuerzo longitudinal.
5. Deformidad longitudinal.
6. Modulo de Young.

**Análisis matemáticos**

Para cada uno de los especímenes se calculó el área puntual y posteriormente el esfuerzo longitudinal mediante la fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{m^2}$$

Donde:

F= Fuerza aplicada medida en Newtons.

m<sup>2</sup>= = Área del espécimen en metros cuadrados.

Del mismo modo se calculó la deformidad longitudinal mediante la fórmula:

$$DL = \frac{\text{Longitud o altura máxima del hueso}}{\text{Longitud inicial}}$$

La deformidad longitudinal la obtenemos al dividir la longitud o altura máxima del hueso valorada desde la base de la tuberosidad del calcáneo hasta el polo superior de la carilla articular posterior. La longitud máxima se obtiene al observar los centímetros desplazados al someter el hueso a cargas. Es decir; la longitud de la altura del calcáneo sumada a la deformidad presentada. También se puede determinar en la lectura directa en la hoja de registro de esfuerzo y deformación de la maquina universal.

Por último, se obtuvo el valor del modulo de Young mediante la fórmula:

$$Y = \frac{\sigma}{DL}$$

El Módulo de Young equivale a la medida de la rigidez relativa, y se determina dividiendo el esfuerzo longitudinal ( $N/m^2$ ) entre la deformidad longitudinal. Las unidades de medición para ésta variable son los Pascales (Tabla 3).

## RESULTADOS

Se estudiaron cinco modelos cadavéricos de calcáneo que presentaron un peso que varía entre 50 y 60 g (Tabla 2) a los cuales se les realizaron distintos trazos de fracturas.

**Tabla 2. Peso y tipo de trazo de fractura de los calcáneos estudiados.**

Variable	Calcáneo 1	Calcáneo 2	Calcáneo 3	Calcáneo 4	Calcáneo 5
Tipo de fractura	Sagital	Axial	Mixto	-	-
<b>Peso</b>	52 g	56 g	50 g	52 g	58 g

Los calcáneos estudiados presentaron un desplazamiento de la fractura desde los 490 N hasta los 785N. Presentándose la lisis de la interfase de clavo-hueso en sólo uno de los casos, siendo el de la fractura simple de trazo sagital. Por último la carga catastrófica al aplastamiento fue entre 1960 a 2159 N (Tabla 3).

Además se registraron módulos de elasticidad, con variaciones notorias, esto debido a los trazos de fractura. Oscilando desde los 245 MPa en un trazo complejo hasta los 490 MPa en los calcáneos íntegros sometidos a compresión hasta lograr la carga catastrófica al aplastamiento (Tabla 4).

Se obtuvo un valor medio de la fuerza en flexión plantar en ejercicio de cadena abierta del tendón de Aquiles de 245 N (25 kg).

**Tabla 3. Relación de fuerza aplicada contra desplazamiento de fractura y lisis de la interfase clavo-hueso.**

VARIABLE	CALCÁNEO 1	CALCÁNEO 2	CALCÁNEO 3	CALCÁNEO 4	CALCÁNEO 5
<b>Desplazamiento</b>	80 kg	95 kg	50 kg	-	-
<b>de fractura</b>	784.8 N	931.95 N	490.5 N		
<b>Lisis interfase</b>	95 kg			-	-

<b>clavo-hueso</b>	931.8 N				
<b>Aplastamiento</b>	200 kg	215 kg	210 kg	205 kg	220 kg
	1962 N	2109.15 N	2060.1 N	2011.05 N	2158.2 N

**Tabla 4. Variables de esfuerzo y deformidad obtenidas en los huesos analizados.**

VARIABLE	CALCÁNEO 1	CALCÁNEO 2	CALCÁNEO 3	CALCÁNEO 4	CALCÁNEO 5
<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-	-
<b>ESFUERZO</b>	784.8 N/m <sup>2</sup>	931.95 N/m <sup>2</sup>	490.5 N/m <sup>2</sup>	2011.05 N/m <sup>2</sup>	2158.2 N/m <sup>2</sup>
<b>LONGITUDINAL</b>					
<b>DEFORMIDAD</b>	2 mm	3 mm	2 mm	5 mm	6 mm
<b>LONGITUDINAL</b>					
<b>MODULO DE YOUNG</b>	392.4 MPa	310.65 MPa	245.25 MPa	402.21 MPa	359.70 MPa

## DISCUSIÓN

Las fracturas del calcáneo representan el 2% de las fracturas, y del 80% al 90% les suceden a adultos jóvenes (Cohen, 2001). Muchos de los pacientes manejados conservadoramente son incapaces de regresar a sus actividades laborales o recreativas originales (Potter, 2009). El tratamiento quirúrgico presenta alta incidencia de complicaciones relacionadas con la herida y tejidos blandos en un 7.57% al 32.8% (Buckley, 1992; Sanders, 2000), lesiones vasculonerviosas del 9.1% al 25% (Buckley, 1992; Paley, 1993; Sanders, 2000). Se han desarrollado

técnicas quirúrgicas con abordajes mínimo invasivo tanto lateral y medial, longitudinales y horizontales, con una prevalencia de complicaciones en el sitio de la herida y a tejidos blandos de 15.4% (Scheppers, 2011).

Por lo que el tratamiento de las fracturas intraarticulares de calcáneo continúa siendo un reto para el cirujano ortopedista y un problema no resuelto. Este estudio es el primero en investigar la estabilidad, con fijador externo, ante cargas de compresión simulando las sollicitaciones a las que se ve sometido el calcáneo en movimientos activos sin carga.

Según los resultados obtenidos en este estudio biomecánico, encontramos que el fijador externo de barra roscada, si neutraliza las sollicitaciones en compresión-tracción en modelos cadavéricos de calcáneo, sometidos a cargas de 245 N, probándolo con un dispositivo de carga puntual. Siendo la carga de 245 N, un promedio de la fuerza con que el tendón de Aquiles tracciona y somete a compresión el calcáneo, en un movimiento activo de cadena abierta. Bortolazzi (2006) estudió el uso fijador externo tipo Orthofix, al igual que Kitaoka (1994) con el uso de fijador externo de anillos articulado, como tratamiento definitivo en fracturas itraarticulares de calcáneo, obteniendo una tasa de éxito funcional de 90.7% y de reducción anatómica valorada en tomografía computada del 44.4% y. Buscamos por ello, éxito en nuestros resultados en modelos de calcáneo.

Para dar estabilidad y rigidez a las fracturas, se requiere de materiales con características definidas. Según Ruedi (1981), El material y el diseño deben tener

resistencia mecánica y a la fatiga, adecuada. Puesto que el hueso que se estudió, se espera no someterlo a carga, únicamente a movimientos activos, sin apoyo, se requiere que soporte la carga de 245 N. Por otra parte la resistencia a la corrosión tiene que ser muy buena y no debe ser tóxico, cancerígeno o provocar reacciones alérgicas.

Encontramos que los tres modelos cadavéricos, soportaron desde 490 N hasta 785 N, dependiendo del tipo de trazo de fractura, superando todos ellos las sollicitaciones fisiológicas. De esta forma se demuestra que el fijador externo con barra roscada uniplanar unilateral, podría usarse como tratamiento definitivo en fracturas de calcáneo con una adecuada reducción. Evitaríamos o disminuiríamos con ello las complicaciones directas al traumatismo y las asociadas a los procedimientos quirúrgicos.

Por lo que este trabajo se toma como el inicio de pruebas biomecánicas para las fracturas del calcáneo, en las que se requiere aplicar fuerzas de tensión. Tomando en cuenta que la carga a compresión a la que fueron sometidos los calcáneos, se basa en que a toda acción se opone una reacción de igual magnitud y dirección, pero de sentido contrario. Razón por la que se decidió aplicar carga de compresión para simular la tracción del tendón de Aquiles

Sin embargo, dentro de las limitaciones de este estudio es, que está enfocado específicamente a las sollicitaciones en compresión, por lo que es necesario demostrar si neutraliza las sollicitaciones en rotación, inversión, eversión

y en falla cíclica. Para así, cumplir caracterización mecánica del calcáneo humano, sin someterlo al apoyo ni la marcha.

Otra de las limitaciones son los tipos de trazos simulados, que son simples, y en muchos de los casos en los que se presentan estas fracturas, se presentan con trazos multifragmentados o sin soporte óseo. Una de las limitantes de mayor peso, son las relacionadas con las modificaciones histológicas en el hueso cadavérico, lo que disminuye su resistencia, aun congelados, lo cual se vio registrado en las cargas a compresión hasta la carga catastrófica y en el módulo de elasticidad resultante.

## **CONCLUSIÓN**

El fijador externo de barra roscada, neutraliza las sollicitaciones en compresión-tracción a más de 245 N de fuerza, que proporcionaría el tendón de Aquiles en un movimiento activo de cadena abierta, sin presentar desplazamiento del trazo de fractura.

Si se realizan estudios posteriores con resultados similares, pero sometidos a esfuerzo cíclico, y métodos de reducción, podremos utilizar el fijador externo con barra roscada, como tratamiento definitivo en fracturas de calcáneo que así lo requieran.



## BIBLIOGRAFÍA

- Abidi, N.A. Dhawn, S. Gruen, G.S. Vogt, M.T. y S.F. Conti. 1998. Wound healing risk factors after open reduction and internal fixation of the calcaneal fractures. *Foot and Ankle International*, 19:856-861.
- Agren, P.H. Wretenberg, P. y A.S. Sayden-Noor. 2013. Operative versus Nonoperative Treatment of the Displaced Intra-Articular Calcaneal Fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 95:1351-7.
- Berberian, W. Sood, A. Karanfilian, B. Najarian, R. Lin, S. y F. Liporace. 2013. Displacement of the Sustentacular Fragment in Intra-Articular Calcaneal Fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 95: 995-1000.
- Brauer, C.A. Manns, B.J. Ko, M. Donaldson, C. y R. Buckley. 2005. An economic evaluation of operative compare with nonoperative management of displaced intra-articular calcaneal fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 87:2741-9.
- Buckley, R. Touch, S. McCormack, R. Pate, G. Leighton, R. Petrie, D. y R. Galpin. 2002. Operative Compared with Nonoperative Treatment of Displaced Intra-Articular Calcaneal Fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 84-A: 1733-44.
- Buckley, R.E. y S. Tough. 2004. Displaced Intra-Articular Calcaneal Fractures. *Journal American Academy Orthopaedics Surgeons*, 12:172-178.
- Carr, J.B. Hamilton, J.J. y L.S. Bear. 1989. Experimental intra-articular calcaneal fractures: anatomic basis for a new classification. *Foot and Ankle international*, 10:81-87.

- Ceccarelli, F. Faldini, C. Piras, F. y S. Giannini. 2000. Surgical versus non-surgical treatment of calcaneal fractures in children: a long-term results comparative study. *Foot and Ankle International*, 825-832.
- Dooley, P. Buckley, R. Tough, S. McCormack, B. Pate, G. Leighton, R. Petrie, D. y B. Galpin. 2004. Bilateral calcaneal fractures: operative versus non-operative treatment. *Foot and Ankle International*, 25:47-52.
- Essex-Lopresti P. 1952. The mechanism, reduction technique, and results in fractures of the os calcis. *British Journal Surgery*, 39:395-419.
- Heier, K.A. Infante, A.F. Walling, A.K. y R.W. Sanders. 2003. Open Fractures of the Calcaneus: Soft-Tissue Injury Determines Outcome. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 85-A: 2276-2282.
- Howard, J.L. Buckley, R. McCormack, R. Pate, G. Leighton, R. Petrie, D. y R. Gpin. 2003. Complications following management of displaced intraarticular calcaneal fractures: a prospective randomized trial comparing open reduction internal fixation with nonoperative management. *Journal of Orthopaedic and Trauma*, 17:241-9.
- Kitaoka, H.B. Schaap, E.J. Chao, E.Y.S. y K. An. 1994. Displaced Intra-Articular Fractures of the Calcaneus Treated Non.Operatively. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 76-A:1531-39.
- Kudel, K. Funk, E. Brutscher, M. y R. Bickel. 1996. Calcaneal Fractures: operative versus nonoperative treatment. *Journal of Trauma*, 41:839-845.

- Macey, L.R. Benirschke, S.K. Sangeorzan, B.J. y S.T. Hansen. 1994. Acute Calcaneal Fractures: Treatment Options and Results. *Journal American Academy Orthopaedics Surgeons*, 2:36-43.
- Magnan, B. Bartolozzi, P. Samaila M. y E.G. Viola. External Fixation for Intra-Articular Displaced Calcaneal Fractures. 2010. *The Journal of Bone and Joint Surgery British*, 92-B.
- Magnan, B. Bortolazzi, R. Marangon, A. Marino, M. Dall'Oca, C. y P. Bartolozzi. 2006. External fixation for displaced intra-articular fractures of the calcaneum. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 88:1474-9.
- McGarvey, W.C. Burris, M.W. Clanton, T.O. y E.G. Melissinos. 2006. Calcaneal fractures: indirect reduction and external fixation. *Foot and Ankle International*, 27:494-9.
- Miric, A. y B.M. Patterson. 1998. Pathoanatomy of Intra-Articular Fractures of the calcaneus. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 80-A:207-212.
- O'Brien, J. Buckley, R. McCormack, R. Pate, G. Leighton, R. Petrie, D. y R. Galpin. 2004. Personal gait satisfaction after displaced intraarticular calcaneal fractures: a 2-8 year followup. *Foot and Ankle International*, 25:657-65
- Palmar, H.V. Triffit, P.D. y P.J. Gregg. 1993. Intraarticular fractures of the calcaneum treated operatively or conservatively: A prospective study. *Journal of Bone and Joint Surgery British*, 75:932-937.
- Poeze, M. Verbruggen, J.P.A.M. y P.R.G. Brink. 2008. The Relationship Between the Outcome of Operatively Treated Calcaneal Fractures and Institutional Fracture Load. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 90:1013-21.

- Potter, M.Q. y J.A. Nunley. 2009. Long Term Functional Outcomes After Operative Treatment for Intra-Articular Fractures of the Calcaneus. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 91:1854-60.
- Stephenson, J.R. 1993. Surgical of displaced intraarticular fractures of the calcaneus. A combined lateral and medial approach. *Clinical Orthopaedic*, 290:68-75.
- Talarico, L.M. Vito, G.R. y S.Y. Zyranov. 2004. Management of displaced intraarticular calcaneal fractures by using external ring fixation, minimally invasive open reduction, and early weightbearing. *Journal Foot and Ankle Surgery*, 43:43-50.
- Thermann, H. Krettek, C. Hufner, T. Schrott, H.E. Albrecht, K. y H. Tscherne. 1998. Management of calcaneal fractures in adults: conservative versus operative treatment. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 353:107-124.
- Thordason, D.B. y L.E. Kringer. 1996. Operative versus nonoperative of intraarticular fractures of the calcaneus: a prospective randomized trial. *Foot and ankle international*, 17:2-9.
- Tomesen, T. Biert, J. y J.P.M. Frölke. 2011. Treatment of displaced Intra-articular calcaneal fractures with closed reduction and percutaneous screw fixation. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 93:920-8.
- Zhang, T. Su, Y. Chen, W. Zhang, Q. Wu, Z. y Y. Zhang. 2014. Displaced intra-articular calcaneal fractures treated in a minimally invasive fashion. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 96:302-9.