



**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**

**“EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LA ESQUINA POSTEROLATERAL  
EN LA ESTABILIDAD DE LA RODILLA POR ANÁLISIS EN ELEMENTOS  
FINITOS”**

**QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD DE ORTOPEDIA**

**PRESENTA:**

**Javier Baidón Córdoba**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. David Lomeli Zamora**

Hospital General del Estado de Sonora

**CODIRECTOR DE TESIS: Dr. Juan Pablo Contreras Félix**

Hospital General del Estado de Sonora

**COMITÉ TUTOR: Ing. José Luis Martínez Montaña**

Tecnológico Nacional de México

**M. en C. Nohelia Pacheco Hoyos**

Hospital General del Estado de Sonora

Hermosillo Sonora; abril 2020



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.

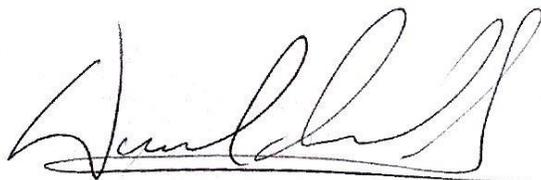
**HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO DR. ERNESTO RAMOS BOURS  
FORMATO CIC04 -VOTO APROBATORIO DEL COMITÉ DE TESIS**

Hermosillo Sonora a 31 de agosto de 2020

**DR. JORGE RUBÉN BEJAR CORNEJO  
DIVISIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN; HOSPITAL GENERAL DEL  
ESTADO DR. ERNESTO RAMOS BOURS**

**A/A: COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**

Por medio de la presente hacemos constar que hemos revisado el trabajo del médico residente de cuarto año: Javier Baidón Córdoba de la especialidad de Ortopedia y Traumatología. Una vez revisado el trabajo y tras la evaluación del proyecto por medio de seminarios hemos decidido emitir nuestro **voto aprobatorio** para que el sustentante presente su investigación en su defensa de examen y pueda continuar con su proceso de titulación para obtener su grado de médico especialista.



**David Lomelí Zamora**  
Tutor principal



**Juan Pablo Contreras Félix**  
Asesor de tesis



**Nohelia G. Pacheco Hoyos**  
Asesor de tesis



## ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN

Hospital General del Estado  
"Dr. Ernesto Ramos Bours"  
División de Enseñanza e Investigación  
No. de oficio: SSS/HGE/EM/461/20

Hermosillo, Sonora a 07 de diciembre de 2020

### LIBERACIÓN DE TESIS

La División de Enseñanza e Investigación del Hospital General del Estado de Sonora hace constar que realizó la revisión del trabajo de tesis del médico residente: **JAVIER BAIDÓN CÓRDOBA** cuyo título es: **"EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LA ESQUINA POSTEROLATERAL EN LA ESTABILIDAD DE LA RODILLA POR ANÁLISIS EN ELEMENTOS FINITOS"**. Con base en los lineamientos metodológicos establecidos por el Hospital General del Estado "Dr. Ernesto Ramos Bours," se considera que la tesis reúne los requisitos necesarios para un trabajo de investigación científica y cumple con los requerimientos solicitados por la Universidad Nacional Autónoma de México durante el año 2020 que incluyen la aprobación de tesis, trabajos de revisión o casos clínicos. El trabajo fue concluido durante el mes de julio de 2020 y fue aprobado por su comité revisor y por el Comité de Investigación del Hospital General Dr. Ernesto Ramos Bours. Por lo tanto, la División de Enseñanza e Investigación acepta el trabajo de tesis para ser sustentado en el examen de grado de especialidad médica; aclarando que el contenido e información presentados en dicho documento son responsabilidad del autor del trabajo.

ATENTAMENTE

**DR. CARLOS GABRIEL GONZÁLEZ BECUAR**  
SUBJEFE DE LA DIVISIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN  
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO DE SONORA

**M en C. NOHELIA G. PACHECO**  
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA  
DIVISIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN  
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO DE SONORA

C.c.p. Archivo



Hospital General  
del Estado  
Dr. Ernesto Ramos Bours

**Unidos logramos más**

Bld. Luis Encinas Johnson S/N Colonia Centro  
Hermosillo, Sonora. Tels. (662) 2592501, 2592505  
[www.saludsonora.gob.mx](http://www.saludsonora.gob.mx)

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de Mexico

A la Secretaria de Salud del Estado de Sonora

A mi sede de trabajo mi segunda casa, El Hospital General del Estado de Sonora “Dr. Ernesto Ramos Bours“.

A los miembros del comité de tesis.

A mis maestros y amigos por todo el apoyo y los consejos y enseñanzas durante mi formación en mi curso de especialidad médica de Traumatología y Ortopedia.

A mi Papá por todo su apoyo , por sus consejos y por ser un ejemplo a seguir en la especialidad de Ortopedia y en la vida diaria.

A mi Mamá por todo el apoyo emocional en los momentos buenos y no tan buenos.

A mis hermanos y abuelas por tanta oración.

A mi prometida por su apoyo incondicional desde la primera guardia hasta la última siempre apoyandome para seguir adelante sin importar todos los sacrificios que tuvimos que realizar.

A Dios que sin el nada de esto hubiera sido posible por permitirme compartir mis logros con la gente que mas amo.

## ÍNDICE

<i>RESUMEN</i> .....	6
<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	7
<i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN</i> .....	9
<i>OBJETIVO GENERAL</i> .....	11
<i>OBJETIVOS PARTICULARES</i> .....	11
<i>HIPÓTESIS</i> .....	12
<i>MARCO TEÓRICO</i> .....	13
<i>ANATOMÍA</i> .....	14
<i>BIOMECÁNICA DE LA RODILLA (ESQUINA POSTEROLATERAL)</i> .....	17
<i>DIAGNÓSTICO CLÍNICO</i> .....	18
<i>MECANISMO DE LESIÓN</i> .....	19
<i>REPARACIÓN VERSUS RECONSTRUCCIÓN</i> .....	19
<i>ELEMENTOS FINITOS</i> .....	20
<i>MATERIALES Y METODOS</i> .....	21
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i> .....	25
<i>CONCLUSIONES</i> .....	29
<i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	30

## **RESUMEN**

Las lesiones de la esquina posterolateral son poco frecuentes y generalmente están asociadas con otras lesiones osteoligamentarias generando un gran problema funcional para nuestro paciente. La esquina posterolateral las componen estructuras complejas tanto estáticas como dinámicas que brindan una gran parte de la estabilidad de la rodilla es por eso la gran importancia que tiene realizar un correcto tratamiento.

Esta compuesta principalmente por 3 estructuras que son el ligamento colateral lateral, ligamento popíteo y el ligamento popíteofibular las cuales su principal función es la de brindar la estabilidad en varo y rotación externa de la rodilla.

Varias técnicas quirúrgicas para tratar lesiones de la esquina posterolateral han sido descritas sin embargo existen pocos estudios que describan el rol específico de cada elemento en la estabilidad de la rodilla y conociendo la importancia de cada uno podremos elegir el tratamiento quirúrgico indicado para nuestros pacientes.

Se realizó una simulación en 3D con el software ANSYS R 17.1 de una rodilla izquierda en la cuál se le aplicó una carga de 1000NW en cara interna de la tibia simulando una lesión en varo forzado y posteriormente se analizó por medio del sistema ANSYS el límite máximo de resistencia de cada ligamento así como el sitio anatómico en el cuál presentaba mayor esfuerzo encontrando por orden de frecuencia al tendón rotuliano, ligamento colateral lateral, ligamento popíteo y ligamento popíteofibular.

La fuerza máxima del ligamento colateral lateral aplicando una fuerza de 1000NW es de 423 megapascales. Del ligamento popíteo es de 85 megapascales y del popíteofibular de 19.24 megapascales.

## INTRODUCCIÓN

Las lesiones de la esquina posterolateral son de gran reto diagnóstico y terapéutico para el cirujano ortopeda dada la complejidad y las distintas estructuras que se ven afectadas. Las lesiones agudas son tratadas por algunos especialistas realizando reparación de los ligamentos identificados que se encuentran lesionados con diferentes tipos de suturas y por otros especialistas se realizan reconstrucción con injertos autólogos o cadavéricos.

En el Hospital General del Estado de Sonora la mayoría de los casos que se presentan en agudo se realiza reparación con una evolución poco satisfactoria para el paciente. Diferentes estudios reportan una asociación entre una lesión del ligamento cruzado anterior con lesión de la esquina posterolateral del 18% y el no realizar una reparación de EPL la tasa de falla aumenta. (Stepane Plaweski MD, 2015)

La prevalencia de lesiones de EPL es difícil de cuantificar debido a la dificultad de realizar el diagnóstico. En un estudio de 187 pacientes con lesiones agudas ligamentarias el 16% presentó lesiones de la EPL en resonancia magnética y se encontró que existe una asociación en la falla de las reconstrucciones de ligamento cruzado anterior cuando no se reparó la EPL. (Marcelo Batista Bonadio, 2014)

Kennedy y colaboradores realizaron pruebas biomecánicas en cadáveres aplicando una fuerza en varo forzada sobre la tibia con un dispositivo una carga con una fuerza de 750 a 1000 Newtons (Kennedy, 2019)

Existen diversos estudios biomecánicos en el cual describen cada ligamento de la EPL pero este estudio a diferencia de los otros se describirá a que nivel sucede la lesión, en que

porcentaje se lesiona cada ligamento y en cuanto porcentaje encontramos asociación entre uno y otro.

Existen nuevos softwares que nos permiten realizar una simulación en 3D como los son los elementos finitos, los cuales nos han venido a brindar métodos no invasivos y más accesibles para realizar este tipo de estudios biomecánicos.

Uno de los objetivos principales de este estudio, es que con base a los resultados obtenidos el cirujano ortopedista tenga mas herramientas para decidir que tratamiento brindar según sea el tipo de lesión, así como continuar con la línea de investigación en esta patología en el Hospital de estudio.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

Las lesiones de la esquina posterolateral de la rodilla suelen pasar desapercibidas no realizando un diagnóstico ni tratamiento oportuno por lo cual generan un problema en el paciente dado que en la mayoría de los casos presentados en este hospital se les da un manejo conservado lo que conlleva a una inestabilidad de la rodilla y en una artrosis temprana de la misma. Por lo que si contáramos con un estudio en el que nos describiera los principales ligamentos que se lesionan y a qué nivel podríamos hacer un mejor diagnóstico y brindar un tratamiento adecuado. Por lo tanto, surgen las siguientes preguntas de investigación.

¿En qué orden se lesionan con mayor frecuencia los ligamentos de EPL?

¿Qué ligamentos son los principales en romperse?

¿A qué nivel se rompe o desinserta cada ligamento de la esquina posterolateral?

¿Qué sucede con el ligamento popliteofibular?

En el Hospital General del Estado de Sonora se han realizado estudios biomecánicos en cadáveres a lo largo de los últimos 15 años en los cuales ha justificado cambios en paradigmas de tratamiento. (Israel, 2009) realizó un estudio sobre luxaciones posteriores de rodilla en el HGE del estado de Sonora identificando las lesiones de las diferentes estructuras posterior a una carga catastrófica generando una luxación, logrando describir en porcentajes el orden de estructuras lesionadas y con esto poder tomar la mejor decisión de tratamiento para nuestro paciente.

Para las lesiones ligamentarias de la rodilla en nuestro hospital el tratamiento de elección en primera intención es de manera conservador con inmovilizador de rodilla lo cual

para quitar este paradigma de tratamiento y justificar el tipo de procedimiento a realizar es necesario demostrar que estructuras son las principales en lesionarse y decidir si es factible reparar o reconstruir ya sea en agudo o en crónico.

Dada la dificultad para poder realizar pruebas biomecánicas en cadáveres en el hospital donde realizamos el estudio decidimos realizarlo con un software de elementos finitos el cual es más accesible y diversos estudios han demostrado la gran utilidad de simular y manipular nuestra variables con resultados muy similiares a los estudios cadavéricos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el sitio y las estructuras ligamentarias lesionadas que se producen en la esquina posterolateral de rodilla al simular en elementos finitos carga en varo y en anteroposterior a la tibia.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

Determinar el orden de lesión de las estructuras de la EPL.

Determinar que estructuras de la EPL son las más importantes.

Determinar a qué nivel de cada ligamento es donde se somete la mayor carga.

Determinar cuál es la fuerza máxima que soporta cada ligamento.

## **HIPÓTESIS**

Si al realizar una simulación de una rodilla con elementos finitos se les aplica una carga en varo y rotación externa en la región proximal anteromedial de la tibia de 1000N esto ocasionará una inestabilidad angular de la rodilla.

## MARCO TEÓRICO

La esquina posterolateral es conocida como el lado oscuro de la rodilla representando una de las estructuras anatómicas más complejas del sistema musculoesquelético. Consiste en componentes estáticos y dinámicos y lo conforman principalmente el ligamento colateral lateral, el tendón poplíteo, el tendón poplíteofibular, bíceps femoral, la banda iliotibial, siendo los primeros tres mencionados los más importantes para la estabilidad de la rodilla.

Las estructuras de la EPL se encargan de estabilizar principalmente la angulación en varo y la rotación externa, por lo cual al lesionarse incrementarían los grados de varo y de rotación externa. Dada la complejidad de estas lesiones se han propuesto múltiples tratamientos muchos de ellos no siendo satisfactorios y otros de ellos logrando reconstruir anatómicamente las estructuras. El Hospital General del Estado de Sonora se enfrenta a esta problemática y revisando literatura mundial no existen registros que describan el papel de cada estructura y con qué orden de frecuencia se lesionan estas estructuras.

La prevalencia de lesiones de EPL es difícil de cuantificar debido a la dificultad de realizar el diagnóstico. En un estudio de 187 pacientes con lesiones agudas ligamentarias el 16% presentó lesiones de la EPL en resonancia magnética y se encontró que existe una asociación en la falla de las reconstrucciones de ligamento cruzado anterior cuando no se reparó la EPL.

## **ANATOMÍA**

### **LIGAMENTO COLATERAL LATERAL (LCL)**

El LCL es de composición fuerte, circular y fibroso, se inserta 1.4mm proximal y 3.1mm posterior del epicondilo lateral femoral y en su parte distal se inserta 8.2mm posterior al margen anterior de la cabeza del peroné y 28.4mm distal al ápice de la estiloides del peroné, con una longitud aproximadamente de 69.6mm. (Robert F. LaPrade, 2004)

Actúa como el principal varo estabilizador de la rodilla así como también nos brinda restricción en la rotación externa de la tibia hasta 30 grados en flexión. (Kennedy 2020). La resistencia del LCL ha sido medida in vitro siendo la máxima 750N y la mínima fuerza 309N en rodillas con mayor edad. (RF, 2004)

### **LIGAMENTO POPLÍTEOFIBULAR (LPF)**

El LPF, históricamente llamado ligamento arcuato, se origina del tendón poplíteo superior a unión musculotendinosa. Este ligamento conecta el tendón poplíteo a la estiloides de la cabeza del peroné. Se encuentra reportado en la literatura que este ligamento es encontrando hasta el 98% de las rodillas de cadáveres. (Robert F. LaPrade, 2004)

### **LIGAMENTO POPLÍTEO (LPT)**

El LPT es una estructura formada desde el tercio proximal de la fosa poplíteica la cual corre proximal y lateral y se inserta en la zona posteromedial de la tibia. El LPT se encuentra intraarticular y cursa alrededor anterolateral de la parte posterior del cóndilo femoral lateral.

Este tendón da 3 fascículos al menisco lateral lo cual tiene importancia en la estabilidad del menisco. Actúa como estabilizador secundario de varo y rotación interna.

Su mecanismo de lesión usualmente es por impacto directo en varo, hiperextensión o torcedura de la rodilla. (Michael J Maynard MD, 1996)

La resistencia del LPF en pruebas realizadas en cadáver es de 424N a 186N.

## **CÁPSULA ARTICULAR**

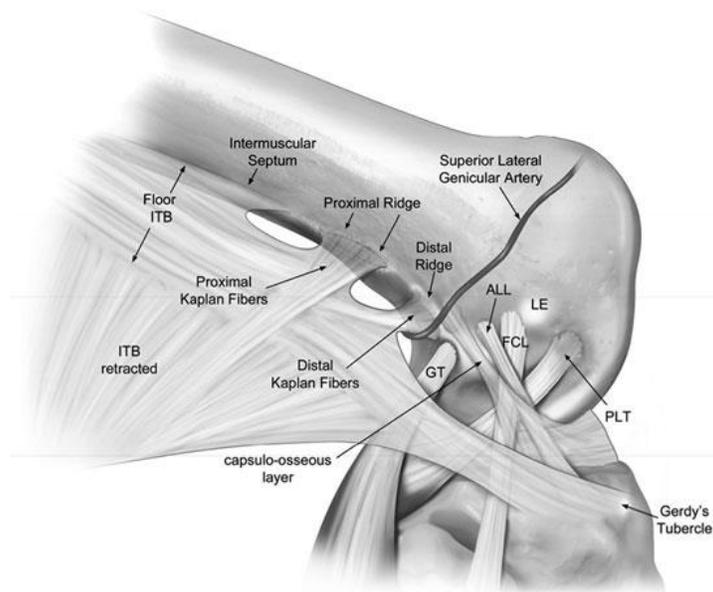
La cápsula articular es una membrana fibrosa de espesor variable, contiene áreas de engrosamiento que puede mencionarse como ligamentos separados. En la parte anterior se reemplaza por el ligamento o tendón rotuliano. En la parte posterior se compone de fibras verticales, que se originan a partir de los cóndilos y de los costados de la fosa intercondílea del fémur.

El retináculo lateral está formado por dos componentes principales, el retináculo oblicuo superficial y el retináculo transverso profundo, el primero transcurre superficialmente desde la banda iliotibial hasta la rótula. El retináculo transverso profundo contiene 3 componentes principales que son el ligamento femorrotuliano lateral, el denso retináculo transverso profundo y por posterior fascia lata y banda iliotibial. (Fred Flandry MD FACS, 2011)

## **LIGAMENTO ANTEROLATERAL (LAL)**

Fue descrito por primera vez en 1879, este ligamento el cuál se encuentra en la parte lateral de la rodilla entre el fémur y la tibia y que brinda estabilidad rotacional a la misma, esta localizada en cara anterior y lateral de la rodilla a mismo nivel que la articulación y se

encuentra compuesta principalmente por componentes de cápsula y fibras de Kalpans logrando brindar estabilidad a la rodilla. (Neri, 2019)



**Figura 1.** Anatomía de esquina posterolateral según LaPrade

Se ha reportado que durante las lesiones del ligamento cruzado anterior en un gran número de casos también se encuentra lesionado el ligamento anterolateral lo cual produce una mayor inestabilidad rotacional de la rodilla.

En la mayoría de las cirugías realizadas de reconstrucción de LCA solamente se realiza reconstrucción del LCA y a pesar de una cirugía técnicamente satisfactoria algunos pacientes continúan con un grado de inestabilidad rotacional, llamandole a esto Inestabilidad Rotacional Anterolateral lo cual lleva a resultados no satisfactorios especialmente en deportistas de alto rendimiento no poder volver a su nivel previo a la lesión. (Neri, 2019)

## **LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR**

El ligamento cruzado anterior se inserta en el fémur a nivel de la porción posterior de la superficie medial del condilo femoral lateral, bajo la forma de un segmento de círculo. El lado anterior es casi recto y el lado posterior es convexo. La inserción es en sentido oblicuo. Tiene una longitud promedio de 38mm y 11mm de ancho. (Robert F. LaPrade, 2004)

## **LIGAMENTO CRUZADO POSTERIOR**

El ligamento cruzado posterior se inserta en la parte posterior de la superficie lateral del condilo interno y al igual que el LCA esta insercion se produce bajo la forma de un segmento de círculo, su dirección general es horizontal. El límite superior de la inserción es recto y el inferior convexo. Tiene una longitud promedio de 38mm y un ancho promedio de 13mm. (Robert F. LaPrade, 2004)

## **BIOMECÁNICA DE LA RODILLA (ESQUINA POSTEROLATERAL)**

El movimiento de la articulación esta controlado por la arquitectura ósea, así como por inserciones musculares y ligamentarias. Cuando la articulación de la rodilla esta completamente extendida los ligamentos colaterales y cruzados estan tensos. Al iniciar la flexión existe una rotacion medial de la tibia sobre el fémur la cual es efectuada por la contraccion del músculo popiteo, la superficie articular del condilo femoral medial es más grande, cuando la dirección de movimiento se invierte, el compartimiento lateral alcanza una posición de extension completa primero y antes que el compartimiento medial este completamente extendido.

La estabilidad lateral esta producida por varias estructuras, en extension las fibras de la banda iliotibial son quizá las mas importantes, debido a que estas se insertan

proximalmente en el fémur. El ligamento lateral se encuentra tenso en extensión, pero relajado en flexión lo mismo con el ligamento poplíteo y poplíteofibular, de esta forma en flexión es posible un grado mucho mayor de rotación en sentido lateral que medial, este es gracias a las inserciones del menisco lateral y a la relajación de los ligamentos mencionados.

## **DIAGNÓSTICO CLÍNICO**

Realizar un diagnóstico oportuno nos brinda la oportunidad de reparar o reconstrucción primaria de la EPL siendo mucho mejor pronóstico que una reconstrucción en casos crónicos. Es muy común que este asociado una lesión del ligamento cruzado posterior con una lesión de la EPL, así como también podemos encontrar que en una lesión de la EPL se asocia a una lesión del nervio peroneo común en un 12%. El test de varo en stress es realizado en 0 y 30 grados de flexión de rodilla que corresponde al papel que realiza el LCL, encontramos que lesiones de la EPL resulta un mayor varo y rotación externa en 30 grados de flexión. (Kennedy, 2019)

Aspsingi et al., (2011) encontraron que en ocho rodillas cadavéricas que seccionan solamente el ligamento cruzado posterior no incrementaba la rotación en varo, y que al seccionar el LCP y la EPL resultaba en un incremento en el varo de 4 grados a 15 grados en 30 grados de flexión.

Lesiones de la EPL grado I y II se pueden tratar de manera conservadora dado que son consideradas rupturas parciales que suelen presentar leve a moderada inestabilidad en varo en 30 grados de flexión, usualmente estas lesiones logran cicatrizar con una buena evolución para nuestro paciente. En las lesiones grado III no cicatrizan cuando se tratan de manera conservadora generando inestabilidad lateral por lo que es recomendable realizar tratamiento quirúrgico. (Dong Ren, 2017)

## **MECANISMO DE LESIÓN**

Una ruptura aislada de la EPL puede ser inducida en laboratorio por un impacto directo en la región proximal anteromedial de la tibia causando hiperextensión y varo. Clínicamente estas lesiones pueden ser causadas por lesiones en hiperextensión con o sin contacto en varo y rotación externa. Así como también por una luxación de rodilla en combinación con otras lesiones ligamentarias. En un 50% de las lesiones del cruzado posterior presentaron lesión de la EPL en un hospital de trauma en gran mayoría posterior a accidentes en moto y atropellamientos.

## **REPARACIÓN VERSUS RECONSTRUCCIÓN**

La decisión entre realizar una reparación o una reconstrucción en las lesiones agudas de la EPL grado III es muy debatida en la literatura, mientras en la reparación lo principal que se busca es reparar el LCL utilizando ancla con sutura y en la reconstrucción se busca mediante injerto autologo o cadavérico crear túneles en hueso y sustituir de una manera anatómica los ligamentos que conformar la EPL.

Kennedy et al., (2019) compararon una técnica de reconstrucción de la EPL contra una de reparación encontrando un fracaso del 37% en reparación contra 9% en reconstrucción. 2 (18). LaPrade et al., (2004) publicaron un artículo biomecánico basado en una reconstrucción anatómica de la EPL en 10 rodillas cadavéricas, reconstruyendo el LPF, LPT y LCL con túneles en tibia en peroné y en fémur con injertos de Aquiles encontrando que no había diferencias entre una rodilla intacta y una reconstruida. En el año 2005 Arciero publicó un artículo utilizando una técnica solamente realizando túnel en peroné y fémur recuperando la estabilidad de la rodilla. (Gehron P. Treme MD, 2019) (MD, 2016)

Treme et al., (2019) publicaron un artículo comparando biomecánicamente en 16 rodillas de cadáver estas dos técnicas sin encontrar diferencias entre una y la otra por lo que sugieren que se realiza la técnica que más domine el cirujano.

## **ELEMENTOS FINITOS**

El método de elementos finitos fue originalmente desarrollado para resolver análisis estructurales relacionados a ingeniería y mecánica, el cuál ofrece un método no invasivo para simular y repetir las veces necesarias diferentes simulaciones que el autor desea (Herrera, 2012).

En el área de Traumatología y Ortopedia las investigaciones que se realizan requieren de un gran aporte económico por las diferentes herramientas que se requieren para poder reproducir las técnicas por lo que una simulación en 3D es una gran herramienta costosa para realizar estos estudios.

Kyoung-Tak Kang et al., realizaron un estudio de elementos finitos en donde lograron comparar 3 técnicas de reconstrucción en donde encontraron que al realizar la técnica con reconstrucción anatómica biomecánicamente era superior a las técnicas de reconstrucción no anatómicas sin embargo las fuerzas de los ligamentos en ninguna de las 3 se pudieron recuperar. (Kyoung-Tak Kang PhD, 2017)

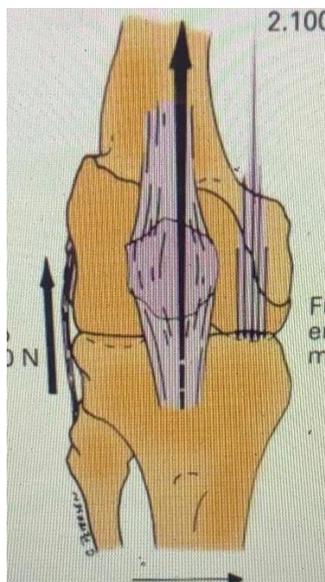
## MATERIALES Y METODOS

### 1. DISEÑO DEL ESTUDIO

- Experimental básico: por medio de elementos finitos.
- Se realizó una simulación en 3D de una extremidad inferior izquierda que incluye femur, patella, tibia y peroné así como ligamento colateral medial, tendón rotuliano y ligamento colateral lateral, popiteo y popiteofibular.

### 2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Se analizó el rol de cada ligamento principalmente de la esquina posterolateral por medio de programa de simulación Ansys Autodesk versión 17 realizando una simulacion aplicando 1000 N de medial a lateral sobre la tibia y aplicando una fuerza de torsión de 150 N sobre la tibia, manteniendo al fémur fijo. (Fig. 2)



**Fig. 2** (John Insall MD, 2003)

1. Se utilizó el programa Ansys R17.1 se obtiene una pierna izquierda completa fémur, rótula, tibia, peroné, ligamento colateral lateral, ligamento popíteo, ligamento popíteofibular, tendón rotuliano y ligamento colateral medial.
2. Se obtuvieron de estudios previos las propiedades de los elementos a estudiar y se ingresaron los datos a programa Ansys para poder realizar simulación. (Fig. 3 )
3. Manteniendo el fémur fijo, se aplicó en la simulación una carga de 1000 N sobre la cara medial de la tibia así como una fuerza de torsión a la tibia de 150 N simulando una patada a una persona que se encuentre corriendo y realizando un giro hacia dentro de la tibia. Se analizará como se comporta cada ligamento especialmente los ligamentos de la esquina posterolateral.
4. Se registraron los resultados de la simulación.
  - Ligamentos que se sometieron a mayor fuerza de tensión.
  - Fuerza máxima de resistencia en megapascales que toleró cada ligamento.
  - A que distancia de su inserción los ligamentos presentaron mayor resistencia a la fuerza aplicada.

Properties of Outline Row 3: hueso			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	1.8	g cm <sup>-3</sup>
3	Orthotropic Elasticity		
4	Young's Modulus X direction	12600	MPa
5	Young's Modulus Y direction	19400	MPa
6	Young's Modulus Z direction	12600	MPa
7	Poisson's Ratio XY	0.3	
8	Poisson's Ratio YZ	0.39	
9	Poisson's Ratio XZ	0.39	
10	Shear Modulus XY	4850	MPa
11	Shear Modulus YZ	5700	MPa
12	Shear Modulus XZ	5700	MPa

**Fig. 3**

## CATEGORIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Tipo de Variable	Definición operacional	Escala de medición	Indicador
<b>Fuerza máxima ligamento</b>	Dependiente	Cuántos N soporta cada ligamento antes de romperse	Cuantitativa	N
<b>Localización de mayor fuerza de tensión</b>	Dependiente	A qué nivel del ligamento existe mayor fuerza de tensión.	Cuantitativa	N
<b>Fuerzas de cada ligamento</b>	Dependiente	Cuántos N se emplean en cada ligamento al aplicar la fuerza	Cuantitativa	N

## ANÁLISIS DE DATOS

Mediante el Software Ansys se realizó la simulación 3D en elementos finitos y se identificaron los ligamentos que se sometieron a mayor fuerza de tensión, cuáles toleraron mayor resistencia y a qué distancia de su inserción presentaron mayor resistencia.

El software al momento de realizar la simulación arroja una tabla de resultados automáticamente.

## RECURSOS EMPLEADOS

### Humanos

- Médico residente cuarto año de Traumatología y Ortopedia.
- Médicos adscritos del Hospital General del Estado de Sonora.
- Ingeniero Biomédico de la Universidad de Sonora.

## **Físicos**

- Programa de simulación Ansys Autodesk versión 17.1

-Computadora portátil con programa Word y Ansys Autodesk

## **ASPÉCTOS ÉTICOS**

Este protocolo no implica consideraciones éticas debido a que no fueron utilizados modelos cadavéricos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó una simulación en 3D en software ANSYS R 17.1 de una rodilla izquierda en la cuál se le aplicó una carga de 1000NW en cara interna de la tibia simulando una lesión en varo forzado y posteriormente se analizó por medio del sistema ANSYS el límite máximo de resistencia de cada ligamento así como el sitio anatómico en el cuál presentaba mayor esfuerzo.

Al aplicar el varo forzado de 1000NW el ligamento rotuliano fue el elemento que presentó el mayor esfuerzo efectivo máximo con 670 megapascuales, encontrándose a nivel de su origen en el polo inferior de la rótula. (Figura 4) El ligamento rotuliano es el ligamento más importante de la rodilla dado que nos permite la flexoextensión así como también encontramos que tiene un rol importante en la estabilidad lateral de la rodilla.

En segundo lugar al aplicar la misma fuerza en varo forzado de 1000NW se encontró el ligamento colateral lateral con una esfuerzo efectivo máximo de 423 megapascuales encontrándose a nivel de su inserción al peroné. (Figura 4 y 5)

El ligamento colateral medial presentó un esfuerzo efectivo máximo de 328 megapascuales encontrándose a nivel de tercio distal del ligamento. (Fig 4 y 7)

El ligamento popíteo presentó un esfuerzo efectivo máximo de 85 mega pascales encontrándose a nivel de tercio medio. (Figura 6 y 8)

El ligamento popíteofibular fue el que presentó menor esfuerzo efectivo máximo obtetiendotanto solo 19.24 megapascales encontrandose a nivel de tercio medio. (Figura 6)

Si no tuvieramos ligamentos en nuestra rodilla y se le aplicará un fuerza en varo de 1000NW se desplazaría 71 metros.

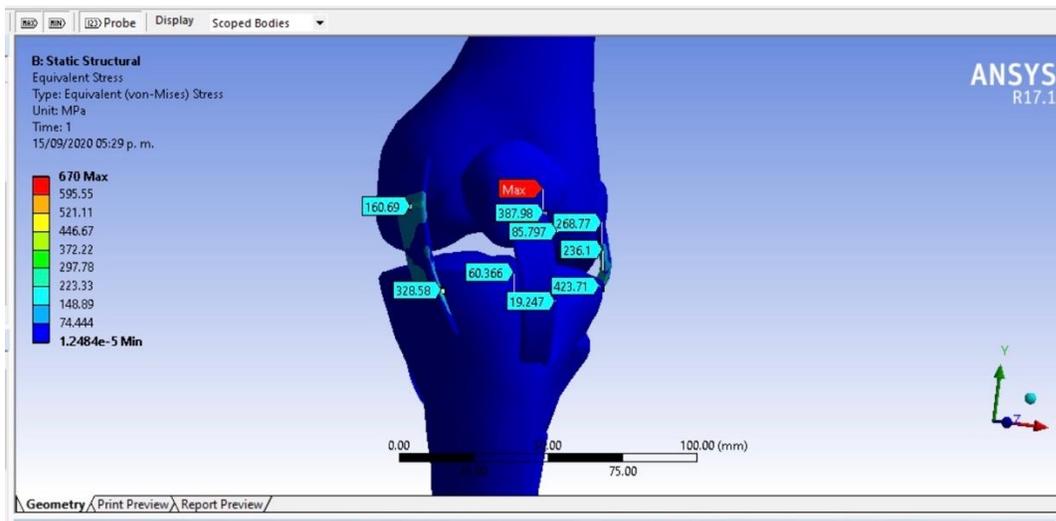


Fig. 4

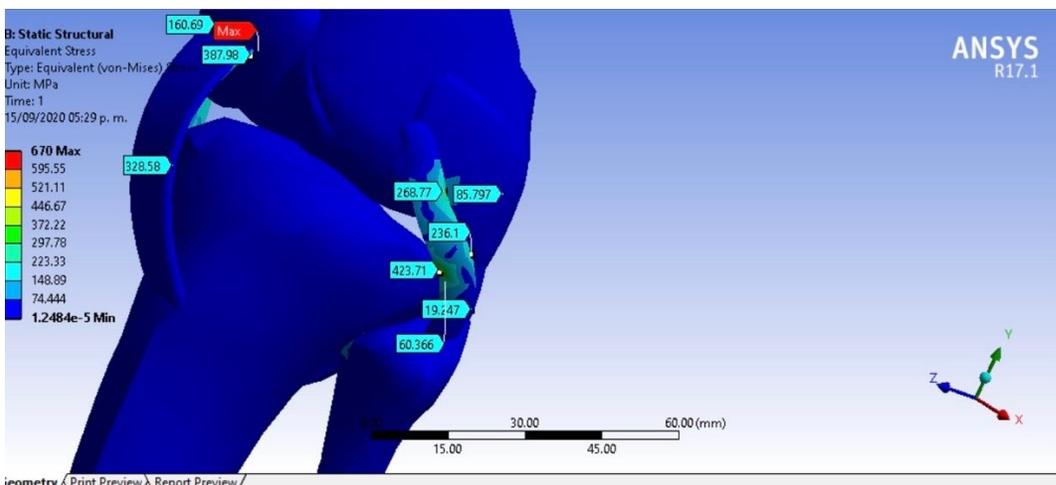
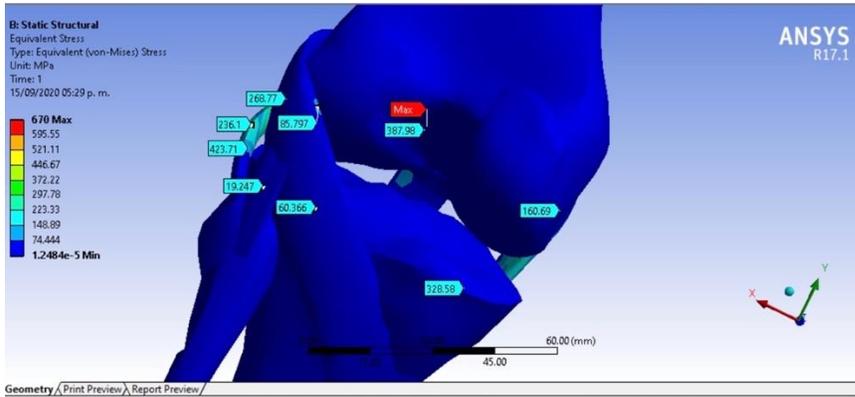
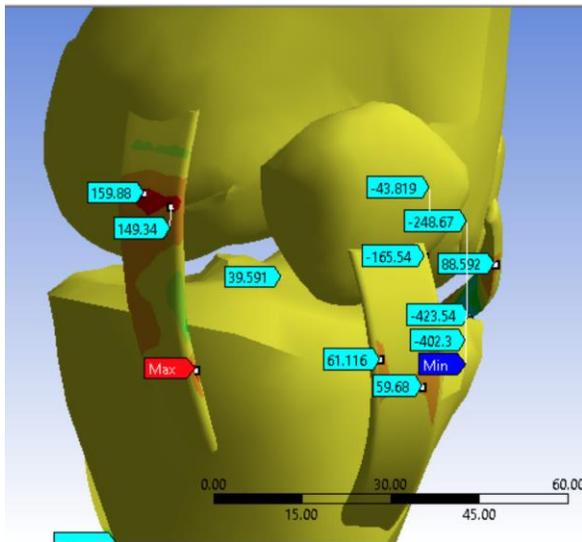


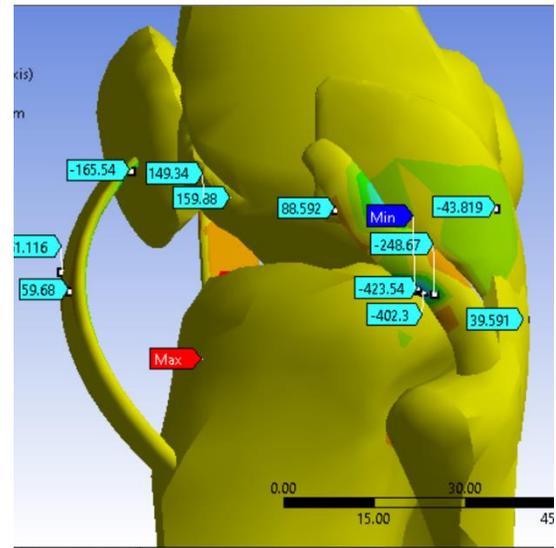
Fig. 5



**Fig. 6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**

Los resultados nos muestran de la importancia que tiene principalmente el ligamento rotuliano y el ligamento colateral lateral por lo que esta condición al ocurrir una lesión de este tipo serían los primeros ligamentos a reparar dado que si solo logramos reconstruir anatómicamente estos dos tendrías buenos resultados para nuestro paciente a pesar de que no preservariamos perfectamente la mecánica normal de la rodilla por el gran límite de resistencia que presentan estos dos ligamentos.

La mayoría de los estudios realizados en cadáveres que existen en la literatura son realizados en pacientes ancianos por lo que al estarles aplicando una fuerza al espécimen puede causar un aflojamiento entre el espécimen y el constructo así como daño en el tejido, es por ello la gran ventaja que tiene realizarlo en manera 3D. (Chun Ym, 2008)

Los modelos computacionales ya sea de rodilla o de cualquier otra articulación eliminan las desventajas de los estudios invitro, por lo que estudios computacionales validados pueden ser considerados un metodo efectivo en analisis parametricos y en estudios clinicos. (Kiapour A, 2014)

Se ha encontrado que la reconstrucción anatómica de todas las estructuras incluyendo el tendón popíteleo resultó en una rotación interna de la tibia anormal durante estudios dinámicos encontrando que la reconstrucción de esta estructura no representa ninguna mejoría en la estabilidad y resultados clínicos. (Nau T, 2005) (Yoon KH, 2011)

En nuestro estudio encontramos que el ligamento Popíteleo representaba tan solo 85 megapascales del esfuerzo efectivo comparandolo con las otras estructuras representa un porcentaje muy bajo por lo que concuerda con otros estudios que este ligamento no es de los más importantes.

## CONCLUSIONES

El ligamento que presentó mayor esfuerzo efectivo y que se lesionó por orden de frecuencia es el ligamento rotuliano seguido del ligamento colateral lateral, el colateral medial, popíteo y por último el popíteo fibular.

Por lo siguiente las estructuras más importantes son el ligamento rotuliano y el ligamento colateral lateral que son los que se someten a mayor fuerza de tensión y al lesionarse uno de ellos generaría mayor inestabilidad de la rodilla. El ligamento popíteofibular se somete a un esfuerzo efectivo muy bajo por lo que su reconstrucción no es tan importante como restituir el ligamento colateral lateral.

El sitio anatómico que más esfuerzo efectivo presentó del ligamento rotuliano es en su origen en el polo inferior de la rótula. El esfuerzo efectivo máximo del ligamento colateral lateral se encuentra a nivel de la inserción en la cabeza del peroné. Los ligamentos popíteo y popíteofibular presentaron su esfuerzo máximo a nivel de su tercio medio.

La fuerza máxima del ligamento colateral lateral aplicando una fuerza de 1000NW es de 423 megapascals. Del ligamento popíteo es de 85 megapascals y del popíteofibular de 19.24 megapascals.

Nuestro estudio tiene algunas limitantes, la primera de ellas es que el modelo anatómico en 3D es de un paciente joven por lo que tener diferentes modelos de diferentes edades mejoraría la validez de nuestros resultados. En segundo lugar es que no agregamos en nuestras estructuras a estudiar a los ligamentos cruzados anterior y posterior, así como los meniscos siendo estas estructuras que nos dan estabilidad en la rodilla. Y por último fue que la fuerza fue aplicada con el fémur fijo pero la tibia no y al mantener fija la tibia obtendríamos mayor esfuerzo en la esquina posterolateral produciendo una mayor inestabilidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Herrera, A. e. (2012). Applications of finite element simulation in orthopedic and trauma surgery .  
*World J Orthop* . .
- Chun Ym, K. S. (2008). *Evaluation of the mechanical properties of posterolateral structures and supporting posterolateral instability of the knee*. (Vol. 26). USA: J. Orthopedic Res.
- Kiapour A, K. A. (2014). *Finite element model of the knee for investigation of injury mechanisms: development and validation*. . London: Journal Biomechanical Eng.
- Nau T, C. Y. (2005). *Comparison of 2 surgical techniques of posterolateral corner reconstruction of the knee* . USA: Journal Sports Medicine .
- Yoon KH, L. J. (2011). *Comparision of clinical results of anatomic posterolateral corner reconstruction for posterolateral rotatory instability of the knee with or without popliteal tendon reconstruction* . USA: Am J Sports Medicine .
- Kennedy, M. I. (2019). *Fibular Collateral Ligament/ Posterolateral Corner Injury: When to Repair, Reconstruct, or Both*. . Arthrosc Tech.
- Marcelo Batista Bonadio, C. P. (2014). *Correlation between magnetic resonance imaging and physical exam in assessment of injuries to posterolateral corner of the knee*. brazil: Acta Orto Brazil.
- Robert F. LaPrade, †. M. (2004). *The posterolateral Attachments of the knee* . Minnesota : The American Journal of Sports Medicine .
- Neri, D. P. (2019). *Determining the change in length of the anterolateral ligament during knee motion: A three-dimensional optoelectronic analysis*. Clinical Biomechanics .
- Dong Ren, Y. L. (2017). *The evaluation of the role of medial collateral ligament maintaining knee stability by a finite element analysis*. China: Journal Of Orthopaedic Surgery and Research .
- Gehron P. Treme MD, C. S. (2019). *A biomechan ical comparison of the Arciero and LaPrade Reconstruction for posterolateral corner Knee injuries*. New Mexico: The Orthopaedic Journal of Sports Medicine.

- Kyoiung-Tak Kang PhD, Y. G. (2017). *Finite element analysis of biomechanical effects of 3 posterolateral corner reconstruction techniques for the knee joint* . Korea: Arthroscopy Association of north America .
- John Insall MD, N. S. (2003). *Insall and Scott RODILLA*. NY, USA : Book .
- Stepane Plaweski MD, B. B. (2015). *Reconstruction of the Posterolateral Corner after sequential sectioning restores knee kinematics*. France : Ortopaedic Journal of Sports Medicine.
- Gehron Treme MD, C. S. (2019). *A biomechanical comparison of the Arciero and Laprade Reconstruction for posterolateral corner knee injuries*. Albuquerque New Mexico : The Ortopaedic Journal of Sports Medicine.
- Michael J Maynard MD, X. D. (1996). *The popliteofibular ligament* . New York USA: The american journal of sports medicine.
- Fred Flandry MD FACS, G. H. (2011). *Normal Anatomy and Biomechanics of the Knee* . Columbus GA: Sports med Arthroscopy Rev volume 19 .
- MD, R. S. (2016). Anatomic posterolateral corner reconstruction. *Arthroscopy Techniques Vol 5*, 563-572.
- RF, L. P. (2004). Force measurements on the fibular collateral ligament, popliteofibular ligament and popliteus tendon to applied loads. *AM J Sports Medicine* , 1695.
- Israel, E. C. (2009). Estudio Macroscopico experimental de las lesiones de ligamentos, musculos, cartilago y capsula en luxaciones posteriores de rodilla. *Tesis universidad Nacional Autónoma de México*.