



**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 DEL CERCLAJE DOBLE PARA FRACTURAS DE OLÉCRANON:  
ESTUDIO BIOMECÁNICO**

**QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA**

**PRESENTA:**  
**Arturo Talamantes López**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. David Lomelí Zamora**  
Hospital General del Estado "Ernesto Ramos Bours"  
**CODIRECTOR DE TESIS: Dr. Juan Pablo Contreras Félix**  
Hospital General del Estado "Ernesto Ramos Bours"  
**COMITÉ TUTOR: Nohelia Pacheco Hoyos**  
Hospital General del Estado "Ernesto Ramos Bours"

**Hermosillo Sonora; Julio 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

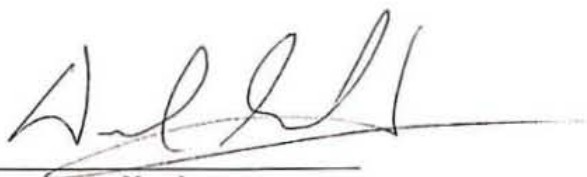
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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 DEL COMITÉ DIRECTIVO DE TESIS

Los presentes hemos revisado el trabajo del médico residente de cuarto año Arturo Talamantes López y lo encuentran adecuado para continuar con su proceso de titulación para obtener su grado de médico especialista en Traumatología y Ortopedia.



Nombre  
**DR. DAVID LOMELÍ ZAMORA**  
Tutor principal  
Hospital General del Estado de Sonora



Nombre  
**DR. JUAN PABLO CONTRERAS FÉLIX**  
Codirector  
Hospital General del Estado de Sonora




Nombre  
**BIOL. NOHELIA PACHECO HOYOS**  
Miembro del comité tutorial  
Asesora Metodológica, Hospital General Del Estado de Sonora

Hermosillo, Sonora a 19 de julio de 2019


### LIBERACIÓN DE TESIS

La División de Enseñanza e Investigación del Hospital General del Estado de Sonora Dr. Ernesto Ramos Bours, hace constar que realizó la revisión del trabajo de tesis del médico residente: **ARTURO TALAMANTES LÓPEZ**; cuyo título es: **"ESTABILIDAD DEL CERCLAJE DOBLE PARA FRACTURAS DE OLÉCRANON: ESTUDIO BIOMECÁNICO"**. 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. 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 de la tesis.

ATENTAMENTE



**DR. MAURICIO BELTRÁN RASCÓN**  
JEFE DE LA DIVISION DE ENSEÑANZA E  
INVESTIGACIÓN  
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO



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



C.c.p. Archivo  
NGPH

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Secretaria de Salud del Estado de Sonora.

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

A los miembros del comité de tesis.

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

A mi familia.

A Dios. “Nobiscum Deus”

## **DEDICATORIA**

A mi Familia

## **INDICE**

<b>RESUMEN</b>	7
<b>INTRODUCCIÓN</b>	8
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN</b>	10
<b>OBJETIVOS GENERALES Y PERSONALES</b>	11
<b>HIPÓTESIS CIENTIFICA</b>	11
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
1.1 Biomecánica	12
1.2 Antecedentes Biomecánicos	13
1.3 Anatomía Del Codo	13
1.4 Movimiento y Cinética	15
1.5 Fracturas de Olécranon	16
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	
2.1 Diseño del estudio.	19
2.2 Población y Periodo de Estudio.	20
2.3 Criterios de Muestreo y Elección del Tamaño de la Muestra.	20
2.4 Criterios de Selección.	20
2.5 Descripción Metodológica.	21
2.6 Categorización de las variables según la metodología.	26
2.7 Análisis de Datos.	25
2.8 Recursos Empleados.	26
2.9 Aspectos Éticos de la Investigación.	28
<b>RESULTADOS</b>	29
<b>DISCUSIÓN</b>	32
<b>CONCLUSIONES</b>	33
<b>LITERATURA CITADA</b>	35

## **RESUMEN**

Las fracturas de codo se encuentran entre una de las fracturas más comunes de la extremidad superior en el adulto, de las cuales la fractura de olécranon corresponde al 10% de todas las fracturas del codo.

Las fracturas desplazadas son tratadas con reducción abierta y fijación interna para lograr una reducción anatómica; El tratamiento más usado es el cerclaje tipo obenque, sin embargo, se estima que el 61.3% de los casos se reinterviene por complicaciones a causa de la migración de los clavos Kirshner que utiliza este constructo.

En el presente estudio se realizan pruebas biomecánicas en 6 modelos cadavéricos de codo, a los cuales se les realiza una fractura en el olécranon controlada con un constructo doble cerclaje que excluye el uso de los clavos krishner, dicho constructo fue sometido a 7200 cargas cíclicas de flexo extensión a una fuerza de 30N, al final de cada prueba se midió la distancia entre ambos fragmentos.

De los 6 modelos cadavéricos solo 1 espécimen presentó desplazamiento de 2 mm, este hallazgo atribuible a una flexión menor a los 20° lo que inhabilita el principio del tirante produciendo solicitaciones catastróficas para el constructo.

El doble cerclaje es estable biomecánicamente hablando en modelos cadavéricos, las pruebas realizadas solo valoran el constructo sometido a flexión y extensión del codo.

El dispositivo electromecánico neumático computacional diseñado, permite simular ciclos de flexo extensión del codo lo más fisiológico posible con fuerzas regulables y rangos de movilidad del codo ajustables.



## INTRODUCCIÓN

Las fracturas de la extremidad superior son frecuentes, dentro de estas lesiones, las fracturas articulares simples del olécranon son particularmente especiales para su tratamiento, ya que éstas fracturas necesitan de reducción anatómica, y así disminuir las complicaciones a largo plazo procurando la cinética del codo. (Roukoz 2016)

El “Gold Estándar” es el cerclaje tipo obenque, el cual utiliza alambre quirúrgico de 1.2mm y 2 clavos kirshners de 1.6mm. Este constructo es dinámico y estable ante las cargas fisiológicas, pues utiliza el principio biomecánico del tirante, permitiendo así la movilización precoz en el posoperatorio, con excelentes resultados. (Veillette 2008)

A pesar de que cerclaje obenque es el tratamiento “Gold Estándar” una de las complicaciones más frecuentes es la migración de los clavos kirshner. Donnelly (2013). Lo que provoca bursitis, irritación cutánea y exposición del material de osteosíntesis. (Roukoz 2016)

El cerclaje doble se utilizó por Roukoz (2016), donde se obtuvieron buenos resultados a un seguimiento de no más de un año, sin embargo, no existen estudios biomecánicos que avalen la estabilidad del constructo.

Se propone realizar pruebas biomecánicas en cadáver por medio de un dispositivo electromecánico neumático computacional, que utiliza un sistema de poleas que semejan cargas cíclicas de flexión y extensión en rangos fisiológicos, con una fuerza de 20 a 30 Newtons, Wilson J. (2011)

Este estudio es el primero en su clase en realizarse con un dispositivo biomecánico electroneumático elaborado en nuestra institución, con apoyos económicos de terceros y los propios de los tesisistas.

Uno de los objetivos principales de esta iniciativa, es la trascendencia del conocimiento en la elaboración y programación para el diseño de nuevos dispositivos de prueba biomecánicos, y así, continuar con la línea de investigación en la patología traumática ósea en nuestro hospital.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Las complicaciones derivadas de la migración de los clavos kirshner utilizados en el cerclaje tipo obenque son hasta el 61.3% (Roukoz 2016), lo que es motivo de reintervención quirúrgica para retiro de material entre los 8 y los 12 meses del posoperatorio (Donnelly 2013), además de no existir pruebas biomecánicas que avalen la rigidez del constructo doble cerclaje, surge la siguiente pregunta de investigación.

*¿Es el cerclaje doble lo suficientemente estable para tolerar las cargas fisiológicas?*

El médico se encuentra en constante búsqueda de métodos que beneficien al paciente, que sinteticen y faciliten la práctica médica obteniendo los mejores resultados posibles en sus tratamientos.

Para una planeación preoperatoria óptima, el médico ortopedista debe conocer las propiedades y del material de osteosíntesis, así como la anatomía y la biomecánica humana; Integrando estos conocimientos se elaboran diversos dispositivos aplicando vectores y fuerzas a modelos anatómicos, para la experimentación biomecánica.

En nuestro hospital general del Estado los estudios Biomecánicos han justificado cambios en los paradigmas del tratamiento médico, permitiendo la movilización precoz en el codo (Garcia 2016) Y en otros, mostrando la estabilidad de la tibia a solicitaciones fisiológicas de flexión, con una pérdida ósea de un 50% en su diáfisis (Campos 2016) abriendo campo al tratamiento conservador para este tipo de lesiones.

Para las Fracturas articulares simples de olécranon el “Gold Estándar” es el cerclaje tipo obenque, para quitar el paradigma, y justificar la apertura de una línea de investigación con pacientes en nuestro hospital, es necesario demostrar que este constructo es lo suficientemente estable, siendo lo ideal el estudio biomecánico con modelos cadavérico.

## **OBJETIVOS**

- **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la estabilidad del cerclaje doble para fracturas de olécranon en pruebas biomecánicas.

- **OBJETIVOS PARTICULARES**

Determinar la carga cíclica de falla del constructo doble cerclaje.

Diseño del dispositivo electromecánico regido por software para cargas cíclicas en modelo cadavérico.

## **HIPÓTESIS**

Si a una serie de ocho modelos cadavéricos con fractura de olécranon fijada por medio de un constructo doble cerclaje se le somete a 7200 ciclos de flexo-extensión con una fuerza de 30N, los constructos se desplazarán menos de 2 mm

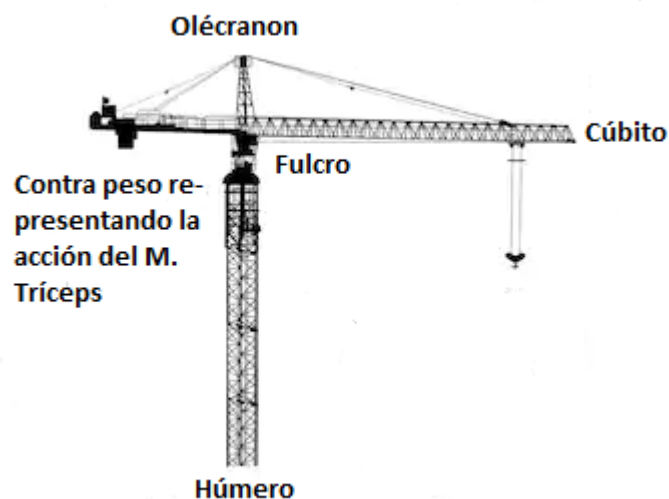
**Predicción hipotética:** Se espera que el constructo doble cerclaje se mantenga estable al final de la prueba.

## **MARCO TEÓRICO**

## 1. Biomecánica.

La Biomecánica es una rama de la ingeniería Biomédica que aplica el conocimiento y las leyes de la mecánica de la Biología. (Doblaré, M. Y J. M. García- Aznar 2000). El estudio de la biomecánica esta inseparablemente relacionado con la anatomía, la Biología, la práctica ortopédica y consideraciones relacionadas con los materiales y es influido por estas.

El análisis de una articulación musculoesquelética comienza con el estudio anatómico de esa articulación, seguido por la representación de la anatomía con sus equivalentes de ingeniería (p. ej., brazos rígidos, cables, bisagras, fuerzas lineales). Un modelo construido con equivalentes de ingeniería puede ser sometido entonces a análisis mediante principios simples de física, mecánica y matemática. (Fitzgerald, 2002) Por ejemplo, el antebrazo funciona como una palanca de tercer grado, siendo el fulcro la fuerza que opone el húmero distal a la cara articular del cúbito, el esfuerzo será el tendón del bíceps y la carga el propio



peso de la palanca y la mano (Figura. 1)

**Figura 1. Representación esquemática de brazo de palanca de la articulación del codo.**

## **2. Antecedentes Biomecánicos**

En el Hospital General del Estado de Sonora se iniciaron los estudios biomecánicos en colaboración con instituciones educativas desde el año 2005.

Entre las principales investigaciones que se han realizado se encuentran la determinación del porcentaje de pérdida ósea de la tibia, elaboración de dispositivos de prueba de fuerzas y estudios experimentales para probar distintas configuraciones de fijadores externos.

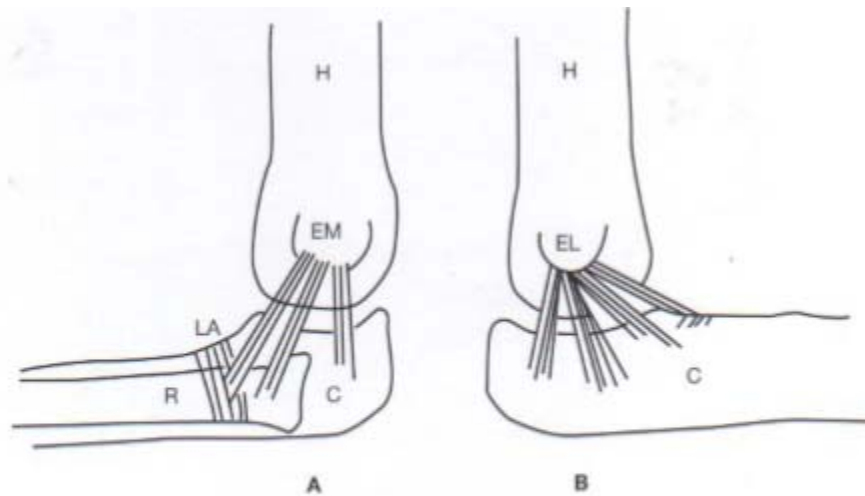
Se determinó, el porcentaje de pérdida ósea de la tibia que ocasiona una fractura de esta (Monreal, 2005). Se realizaron pruebas biomecánicas en flexión a hueso de cadáver con un dispositivo de cuatro puntos y una prensa universal (Quintanar, 2014). Se evaluó la configuración para la colocación de fijadores en calcáneo y fémur (Ocampo, 2014; Vázquez, 2014) Se analizaron las sollicitaciones en flexión en tibia con diferente configuración de fijador externo tipo Charnley-Müller (Fierro, 2015).

## **3. Anatomía.**

La articulación cúbito humeral es la clave para la estabilidad y la movilidad a la flexo extensión, los estabilizadores principales son las partes blandas dado por los ligamentos colaterales, el ligamento anular así mismo el tríceps braquial y el bíceps braquial son importantes estabilizadores (Figura 2) (Rookwood 2010), Además de esto, hay que entender la forma anatómica distal del humero, ya que la tróclea humeral en forma de polea o diábolo que se encuentra en contacto con la gran cavidad sigmoidea del cubito, en el cual su porción proximal termina con el pico del olécranon y en su porción distal con la apófisis coronoides, la superficie articular cuenta con dos carillas, que a su vez se

encuentran divididas por una cresta que corre de manera longitudinal. (Figura 3)

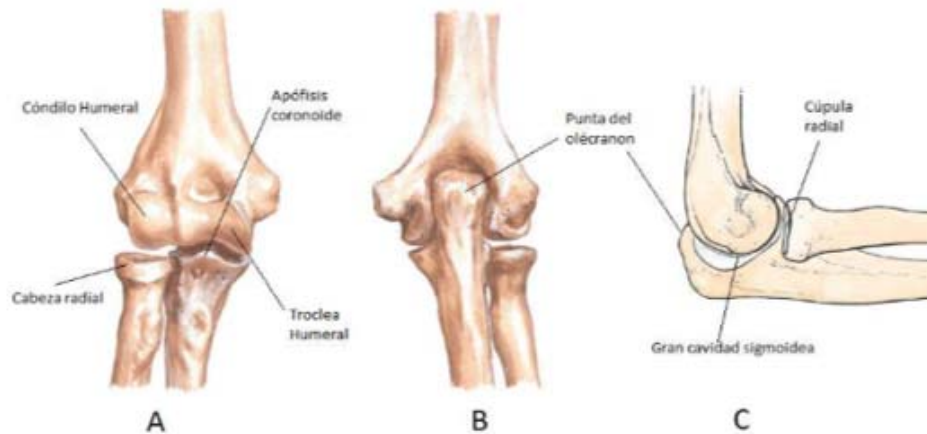
La cúpula radial, cara superior de la cabeza radial, cuya concavidad posee la misma curva que el cóndilo sobre el cual se adapta. Esta limitada por un reborde que se articula con la zona condilotroclear. Estas dos superficies constituyen un conjunto único gracias al



**Ligamentos colaterales de la articulación del codo.** A, Ligamentos colaterales que se originan en el epicóndilo medial (EM) del húmero (H) y se fijan al radio (R) y al ligamento anular (LA). B, Ligamento colateral lateral que nace en el epicóndilo lateral (EL) y se fija al cúbito (C).

ligamento anular que las mantiene una contra otra (Kapandji 2006)

**Figura 2. Ligamentos estabilizadores del codo**



**Figura 3. Componentes Óseos de la articulación del codo. A) Vista anterior. B) Vista posterior. C) Vista Lateral**

#### **4. Movimiento y Cinética.**

Tres músculos mueven la articulación del codo:

1. El músculo Braquial, que se origina en la mitad inferior del húmero y se fija en la cara anterior de la apófisis coronoides. Es el principal músculo flexor del codo.
2. El Bíceps, con su cabeza larga y corta, que se unen a la porción media del húmero, se insertan en la cara medial del radio, es un musculo principalmente supinador del antebrazo, aunque también es flexor. (Figura 4)
3. El tríceps braquial, que se origina en la parte posterior e inferior del húmero y va a insertarse en el cúbito. Es el extensor del brazo. (Figura 5) (Cailliet, 2006)





**Figura 4.** Vista anterior del Brazo, músculo Braquial. **Figura5.** Vista posterior del brazo músculo tríceps Thompson J. (2004)

La flexión y Extensión del codo tienen lugar en la articulación humero cubital y humero radial. El Rango normal de flexo-extensión es de 0 a 146 grados con un rango funcional de 30 a 130 grados. Es decir, clínicamente los pacientes pueden tolerar contracturas de Flexión hasta los 30 grados.

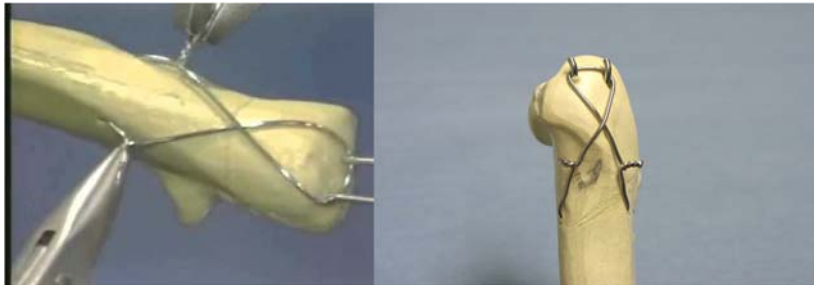
La masa del antebrazo (2 kg) produce una fuerza gravitación de 20 Newtons. (Zukerman, J.D. Et al., 2004).

## 5. Fracturas de Olécranon

Las fracturas de codo se encuentran entre una de las fracturas más comunes de la extremidad superior en el adulto (Roukoz 2016) de las cuales la fractura de olécranon corresponde al 10% de todas las fracturas del codo (Villiete 2008).

Las fracturas desplazadas son tratadas con reducción abierta y fijación interna para lograr una reducción anatómica, Esto para preservar la funcionalidad del codo e iniciar la movilización temprana para mejorar el pronóstico funcional del paciente así preservando el rango de movilidad de la flexo extensión.

El tratamiento más usado es el cerclaje tipo obenque, este se aplica en las fracturas articulares simples, Este constructo tipo obenque consta de 2 clavos kirshner de 1.6mm y un cerclaje con alambre quirúrgico de 1.2mm en forma de “8” (Scott 1996) (Figura 6)



**Figura 6. Constructo Tipo Obenque.  
(AO surgery reference)**

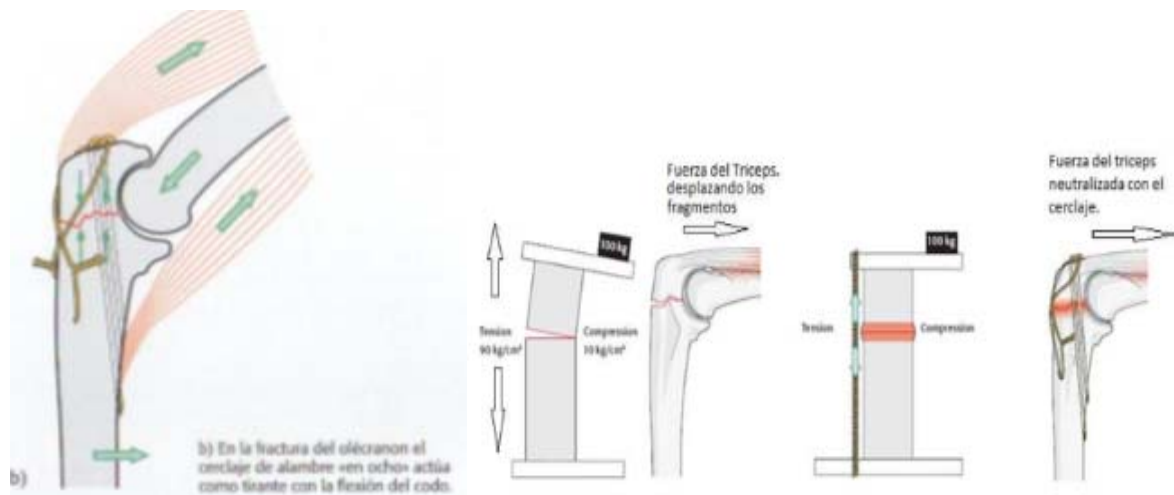
El constructo utiliza el principio biomecánico del tirante, el cual consta en que una estructura tubular curva que se encuentra sometida a tracción presenta un lado de tensión y otro a compresión, por lo que “Powels” describe que las fuerzas de tensión se convierten en fuerzas de compresión aplicando un dispositivo adecuadamente, excéntricamente o sobre lado convexo de un tubo o hueso curvo.

En las fracturas de olécranon la aplicación de un tirante neutralizara las fuerzas e incluso convertirá en fuerzas de compresión cuando la articulación se flexione (Ruedi 2000)

(Figura 7)

Estudios biomecánicos previos, han mostrado que la compresión articular máxima en el trazo de fractura se alcanza entre los 20 y 30 N. (Wilson J. 2011) Por ende, fuerzas mayores a estas no son necesarias para realizar estas pruebas.

El periodo de consolidación y de rehabilitación en Fracturas de olécranon que es de 10 a 12 semanas (Hoppenfield, 2004) por lo que se recomienda hasta 6000 ciclos de flexo extensión en este periodo (Florit, J. 2009)



**Figura 7. Columna de Powels explicando la neutralización en la cara de tensión.**

Se estima que el 61.3% de los casos se reinterviene por complicaciones a causa de la migración de los clavos kirshners (Martinez Romero 2000) entre las más comunes son el dolor, bursitis, exposición del material de osteosíntesis y Neuritis del nervio cubital (Huang 2010) (Figura 8) para tratar de disminuir la migración de los clavos. Se han realizado estudios sobre su configuración, ya sean endomedulares o transcorticales sin mostrar superioridad un constructo sobre otro (Chan 2013).

A pesar de las complicaciones en la actualidad y a pesar de múltiples implantes para las fracturas de codo, el obenque continúa siendo el “Estándar de Oro”



**Figura 8. Paciente con migración de clavo kirshner en el mes 6 del posoperatorio con cerclaje obenque en el Hospital General del Estado de Sonora.**

El cerclaje doble sin clavo kirshner se utilizó por Roukoz (2016) con pacientes vivos en una serie de casos publicada por este autor, el cual utiliza el mismo principio biomecánico del tirante, el cual sustituye el uso de los clavos kirshner con un cerclaje circular, utilizando el punto de apoyo en el espesor del tendón del tríceps, preservando el cerclaje principal en “8” sin embargo el artículo es de pobre evidencia científica, pues es una serie de casos con seguimiento a no más de un año, aun así, ellos reportaron re intervención hasta un 27% de los pos operados (Roukoz 2016) (Figura 9)



**Figura 9. Cerclaje Doble en modelo cadavérico en el hospital General del Estado de Sonora.**

Se realizaron búsquedas en diversos servidores como PubMed y Google Escolar, sin encontrar más estudios o casos publicados con este método.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. *Diseño del Estudio.*

<b>Tipo de estudio</b>	<b>Descripción</b>
<i>Experimental</i>	Estudio donde el investigador manipula y controla el factor de estudio. Existe por lo general, un grupo de análisis control y uno o más grupos experimentales.
<i>Biomecánico</i>	Tipo de estudio experimental donde los sujetos son pacientes ya sea vivos o modelos cadavéricos y se evalúa uno o más tratamientos para el control de un padecimiento.
<i>Analítico</i>	Estudio donde se pueden establecer relaciones entre variables.

### 2. *Población y Periodo de estudio.*

8 modelos cadavéricos de codo.

-Diseño del Dispositivo Biomecánico	10 al 15 de mayo.
-Diseño y Prueba del Lenguaje de Programación	15 al 20 de mayo.
-Integración, Revisión y Entrega del Marco Teórico	21 al 30 de mayo.
-Recolección y prueba de modelos cadavéricos.	31 mayo al 21 junio
-Recopilación de resultados, formulación de conclusión y Entrega de Tesis	22 al 28 junio.

### *3. Criterios de muestreo y elección del tamaño de la muestra*

Se toman 8 modelos cadavéricos de extremidad superior bilaterales, que cumplan los criterios de inclusión. El tamaño de la muestra se determina con base a estudios biomecánicos previos con modelos cadavéricos. Wilson J. (2011) siendo 8 los especímenes utilizados en los estudios biomecánicos con modelo cadavérico.

### *4. Criterios de Selección*

Inclusión: Modelos cadavéricos con estructuras anatómicas íntegras sin antecedente de fractura.

Exclusión: Enfermedades sistémicas que alteren el metabolismo óseo y la colágena, Pacientes Seropositivos con VIH, Hepatitis C, B o alguna otra enfermedad infectocontagiosa.

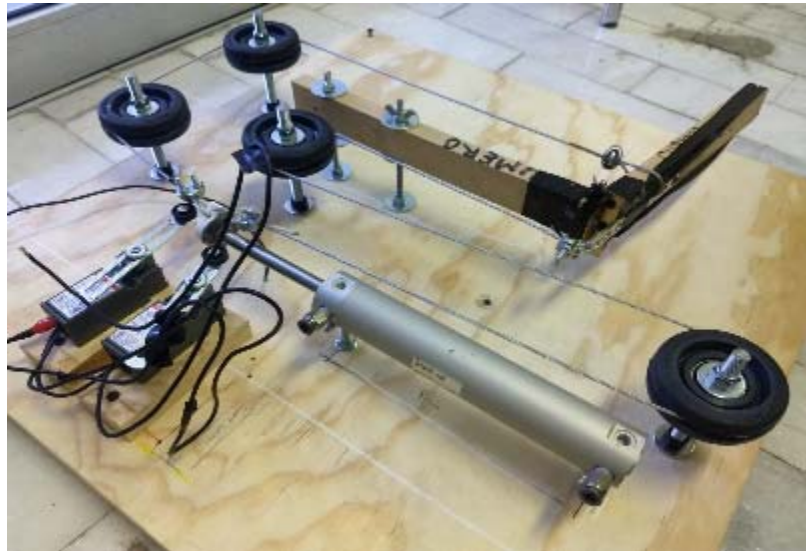
Eliminación: Fractura inadecuadamente controlada, lesión importante en las estructuras ligamentarias del codo que condicione inestabilidad para llevar al cabo la prueba.

### *5. Descripción Metodológica*

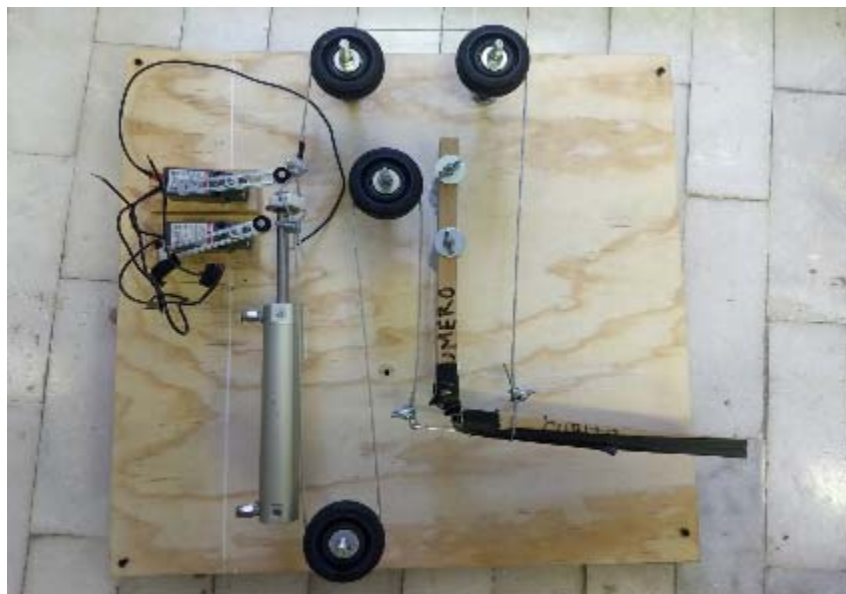
*-Diseño del dispositivo.*

Se diseña con el objetivo de simular la flexo extensión del codo, el cual utiliza un sistema de poleas con fuerzas de tracción verticales al cúbito, esto, para imitar los dirección de tracción del músculo tríceps y el Braquial.

El dispositivo cuenta con un pistón de doble acción de 32mm de diámetro capaz cargar hasta 100 Kpa, Fijado paralelo al húmero y en la punta del pistón se encuentra roscado un cubo de polímero que recibe alambre trenzado de 3/8 y a su vez sirve para accionar 2 “limit swicht” y delimitar así la carrera de acción a 80mm (Figura 10y 11)



**Figura 10. Dispositivo Biomecánico usado para las pruebas de flexo extensión (periodo de prueba). El cual cuenta con un modelo de madera con bisagra para simular el flexo extensión de la extremidad superior.**



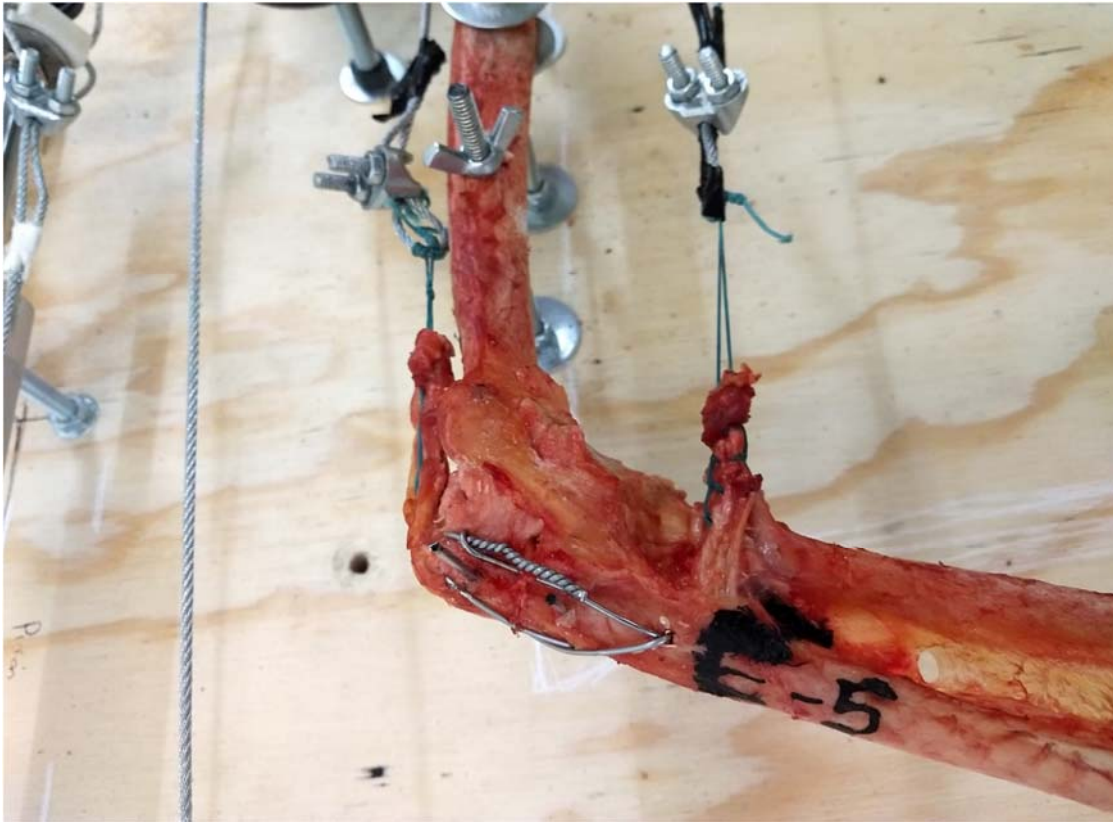
### **Figura 11.**

La pieza anatómica se perfora en su diáfisis proximal con una broca de 1/4, y así fijarse a 2 barras del mismo calibre con tornillos y arandelas, para brindar estabilidad a la pieza anatómica. Luego, con cierra oscilante, se realiza una fractura en el olécranon para ser fijada con el cerclaje doble, con alambre quirúrgico de 1.2mm constructo con el cual se experimentará.

Se colocan 2 clavos kirhsner 1.6mm en la cara dorsal del cúbito en cada fragmento a una distancia de 20mm, se pinta la punta de cada clavo.

Los tendones del tríceps y el braquial se sujetan por medio de una sutura tipo Krakow con Ethibond Excel 5 (7Ph. Eur.) los cabos de la sutura se fijan al prisionero junto con el alambre; El alambre se pretensa en la punta del pistón, Se realiza el mismo procedimiento con el tendón del braquial. (figura 12)





**Figura 12. Sujeción de tendones con sutura Ethibond No.5**

El dispositivo se encuentra controlado por un PLC SIEMENS LOGO! V8 al cual se le precarga un software desde una PC, con esto podemos controlar la cantidad de ciclos deseados y así cuantificar el tiempo que le toma a cada prueba. Este PLC se encuentra conectado a los “Limit Swichts” los cuales envían un impulso eléctrico y el PLC lo interpreta para ordenar los impulsos eléctricos a una válvula con solenoide 2/5 el cual envía el aire necesario para accionar el pistón. (Figura 13)

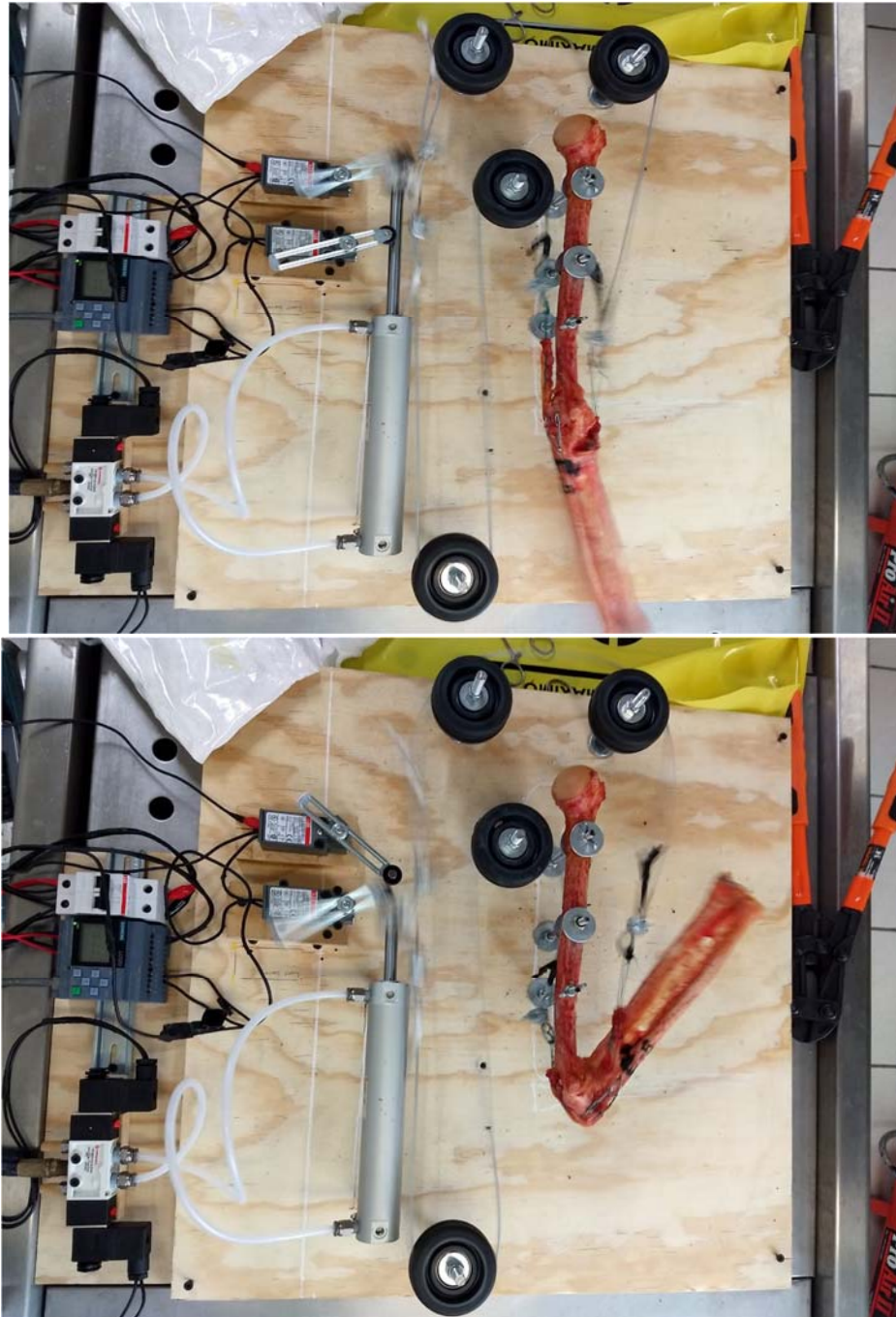


Figura 13. Flexo Extensión del sistema durante las Pruebas del espécimen “E-5”

- *Cargas Cíclicas y fuerza*

Para determinar la fuerza de flexión, se utiliza una báscula RAPALA digital que cuenta con un gancho, de esta manera se hace contra resistencia con el cúbito al momento de flexión, regulando así la salida de aire al sistema neumático para alcanzar 3 Kgs de fuerza, el equivalente a 27 N.

Según García. (2016) en su estudio, somete a los modelos a 7200 flexo extensiones rebasando en un 10% los ciclos de flexo extensión recomendados.

6. *Categorización de las variables según la metodología*

<u>Variable</u>	<u>Tipo de Variable</u>	<u>Definición operacional</u>	<u>Escala de Medición</u>	<u>Indicador</u>
Separación entre fragmentos	Dependiente	Separación de los fragmentos a final de cada prueba cíclica	Cuantitativa continua	mm.
Fuerza aplicada	Independiente	Es la fuerza que realiza que el dispositivo aplica al modelo calculado en Newton	Cuantitativa Continua	N
Ciclos	Independiente	Los movimientos de flexo extensión	Cuantitativa Continua	Ciclos / segundo.

7. *Análisis de datos.*

Se analiza por medio de dos variables independientes; La Fuerza aplicada al modelo anatómico, para medirla se coloca una báscula digital al cúbito en contra resistencia al movimiento de flexión, para así regular el flujo de aire entrante a la válvula solenoide y

lograr la fuerza deseada en Kilogramos. El segundo, es la cantidad de flexo extensiones al final de cada prueba; se determina el tiempo total de la prueba, se divide 7200/ total de segundos de la prueba.

Antes de cada prueba se mide la distancia entre cada fragmento por medio de dos clavos kirshner a 20mm de separación; Al final de cada prueba de 7200 ciclos se vuelve a medir la distancia para compararla con la inicial.

#### 8. *Recursos empleados*

##### Humanos

- Médico Residente de 4to año de Traumatología y Ortopedia
- Medico Adscrito al Hospital General del Estado.
- Ing. Del Instituto Tecnológico de Hermosillo de la carrera de mecatrónica.
- Personal de Servicios generales, mantenimiento y los del taller del Hospital General del Estado de Sonora.

##### Físicos

###### *Modelo anatómico y constructo.*

- 8 Piezas anatómicas de extremidad superior, con las estructuras osteoligamentarias de la articulación cúbito humeral.
- Sierra Oscilante Stryker.
- Seis Rollos de alambre quirúrgico de 1.2mm
- Seis Clavos kirshner de 1.6mm
- Entorchadora y pinza manipuladora de alambre
- Pinza de reducción.
- Material de Sutura Ethibond Excel 5 (7Ph. Eur.)

- Perforador eléctrico Inalámbrico
- Broca de 3.2mm y 2.7mm
- Broca para madera de 1/4 pulgada

#### *Dispositivo Biomecánico*

- Pistón de doble acción SMC de 32 mm de diámetro.
- Adaptadores de 5/16 pulgadas para manguera de 1/4 pulg.
- Manguera de 1/4 pulgada.
- PLC SIEMENS LOGO! V8.
- Dos Limit Swicht ABB MOD. LS31 P51.
- Alambre eléctrico multifilamento 2 mm.
- Interruptor eléctrico para 110 v.- 400 v.
- Válvula solenoide 5/2 multivia NORGREN.
- PC con Software LOGO V8.2
- Cable Ethernet 2 mts.
- Panel de madera de 60 x 60 cmts por 3/4 de pulg.
- 1 varilla roscada de 1/4 pulg.
- 8 Arandelas 1/4.
- 8 Tuercas de seguridad 1/4.
- 2 mariposas de 1/4.
- 1 varilla roscada de 11mm.
- 8 tuercas de seguridad de 11mm.
- 8 Arandelas para 11mm.
- Alambre Trenzado multifilamento de 1/16 pulg.
- 4 Prisioneros para alambre e 1/16 pulg.

## Financieros

-Se recibió apoyo particular (ORTOSON), además de los solventados por el tesista.

### *9. Aspectos Éticos de la investigación.*

Lo establecido a la Ley General de salud, Capítulo V, **Artículo 350 bis 2 y 350 bis 3 y 350 bis 4**, Que a la letra dicen:

**Artículo 350 bis 2.-** Para la Práctica de necropsias en cadáver de seres humanos se requiere el consentimiento del cónyuge, concubinario, concubina, ascendientes, descendientes o de los hermanos, salvo que exista orden por escrito del disponente, o en el caso de la probable comisión de un delito, la orden de la autoridad judicial o el ministerio público.

**Artículo 350 bis 3.-** Para la utilización de cadáveres o parte de ellos de personas conocidas, con fines de docencia e investigación, se requiere el consentimiento del disponente.

Tratándose de cadáveres de personas desconocidas, las instituciones educativas podrán obtenerlos del ministerio público o de establecimientos de prestación de servicios de atención médica o de asistencia social. Para tales efectos, las instituciones educativas deberán avisar a la autoridad sanitaria competente, en los términos de esta Ley y demás disposiciones aplicables.

**Artículo 350 bis 4.-** Las instituciones educativas que obtengan cadáveres de personas desconocidas serán depositarios de ellos durante diez días, con objeto de dar oportunidad al cónyuge, concubinario, concubino o familiares para reclamarlos. En este lapso los cadáveres permanecerán en las instituciones y únicamente recibirán el tratamiento para conservación y el manejo sanitario que señalen las disposiciones respectivas.

Una vez cumplido el plazo correspondiente sin reclamación, las instituciones educativas podrán utilizar el cadáver.

## RESULTADOS

Dado a diversos factores, solo se pudieron obtener seis especímenes, de los cuales tres brazos son derechos y tres izquierdos; todos de varones entre los 58 y los 78 años de edad.

Los seis especímenes fueron sometidos a los 7200 ciclos a 25 N, de los cuales solo el espécimen denominado “E-5” tuvo un desplazamiento de 2 mm.

Durante las pruebas el espécimen “E-2” y “E-3” presentaron fallo por ruptura del material de sutura del tendón tricipital y la sutura del tendón del bíceps braquial a los 7140 y 4812 ciclos propiamente.

Sin embargo, no hubo desplazamiento de ambos fragmentos del espécimen “E-2”, por lo que decidimos hacer validar la prueba con solo 7140 ciclos.

Dado a que en estas pruebas se evalúa la estabilidad del cerclaje, al espécimen “E-3” se le recolocó el cerclaje tipo krakow y se resumieron las pruebas configurando el software a límite de 2388 ciclos en adición para completar la prueba, de nueva cuenta, sin desplazamiento entre los fragmentos.

Durante la prueba del espécimen “E-6”, se realizó una pausa a los 4567 ciclos para reajuste de los cables de tracción, continuando con la prueba sin adversidades. (tabla 1)

Espécimen	Distancia inicial entre fragmentos en mm.	Ciclos	Inicio de la prueba (Hora)	Fin de la prueba. (Hora)	Duración (min)	Ciclos por segundo	Desplazamiento final entre fragmentos en mm.	Observaciones
<b>1</b>	20	7200	11:41	12:32	51 min	2.3	0	ninguno
<b>2</b>	20	7140	12:29	13:23	44 min	2.7	0	Término de prueba en 7140 ciclos por fallo del material en la sutura del tendón del tríceps.
<b>3 (1)</b>	20	4812	13:10	13:44	34 min	2.3	0	Fallo del material de sutura del tendón del bíceps braquial.
<b>3 (2)</b>	20	2388	13:57	14:15	18 min	2.2	0	Fin de la prueba Sin desplazamiento
<b>4</b>	20	7200	14:51	13:47	56 min	2.1	0	ninguno
<b>5</b>	20	7200	11:02	12:00	58 min	2	2	Constructo sin fatiga. Pérdida en su tensión del cerclaje
<b>6 (1)</b>	20	4567	13:27	13:57	30 min	2.5	0	Pérdida de la tensión en sistema de poleas.
<b>6(2)</b>	20	2633	14:03	14:24	21 min	2	0	ninguno



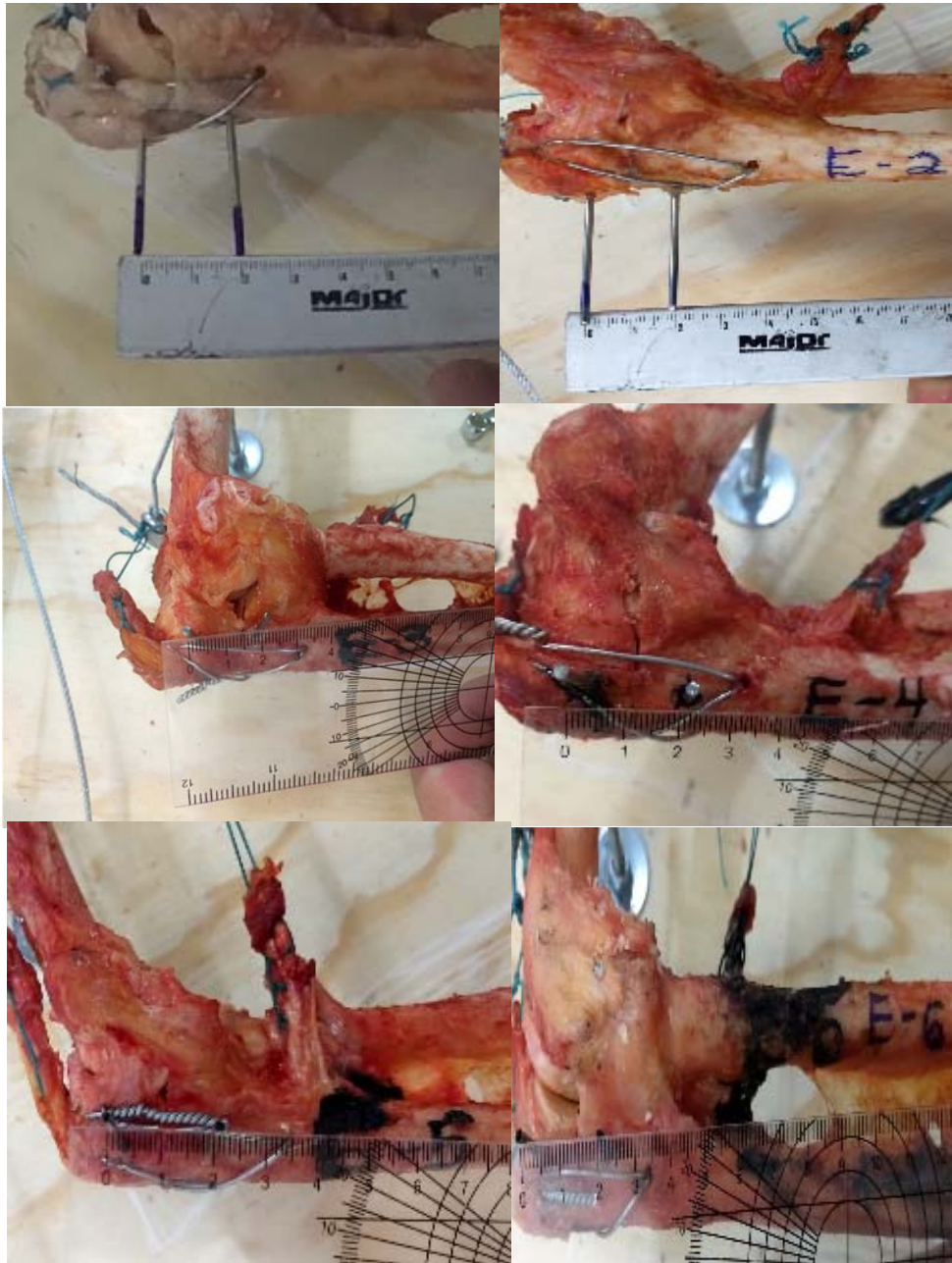


Figura a 14. Distancia final entre fragmentos al final de las pruebas cíclicas en los 6 modelos cadavéricos.

## **DISCUSIÓN.**

El cerclaje tipo obenque se ha usado desde la década de los 80's y continúa siendo el constructo de elección para las fracturas articulares simples del codo, con buenos resultados de consolidación presentando solo 1% de pseudoartrosis.

Este es un constructo que tolera las cargas fisiológicas de manera sobrada, soportando fuerzas de hasta 100N en pruebas realizadas por García 2016.

El constructo emplea alambre de 1.2mm y dos clavos kirshner del 0.062"; sin importar la colocación de los clavos kirshner, las complicaciones derivadas de la migración de los clavos son hasta un 61.3% de los casos. (Martínez Romero 2000)

En presente estudio se propone hacer modificaciones en el constructo, reemplazando los clavos krishner con un cerclaje circular, buscando valorar la estabilidad biomecánica en modelos cadavéricos, con un dispositivo diseñado para realizar cargas cíclicas mediante un sistema de poleas, ejerciendo fuerzas de tracción de 25 N a 30N; Un estudio realizado por Wilson J. (2011) comprobó que exceder las cargas mayores a los 30N, no presenta mayor compresión en el foco de fractura durante la flexo-extensión.

De los 6 especímenes, Solo el espécimen "E-5" presentó un desplazamiento de 2 mm. Sin embargo, se observó integridad del constructo; Analizando los videos de la prueba, nos percatamos que los grados de flexión eran menores a los 30°, esto, fisiológicamente imposible en pacientes sanos.

Podemos explicar la falla del constructo, en términos de estabilidad, pues el principio biomecánico del tirante se pierde al ejercer fuerzas tracción sobre el tendón del bíceps con menos de 30° de flexión, ya que la fuerza de tracción desplaza al cúbito a proximal sin

hacer fulcro sobre la superficie convexa del húmero, lo que desplaza el cúbito solicitando el cerclaje a flexión.

El dispositivo electromecánico neumático computacional diseñado en el Hospital General, resulta suficiente para realizar pruebas dinámicas, ya que nos permite regular la fuerza de los ciclos empleados en el constructo, además los rangos de movilidad de flexo extensión en los modelos cadavéricos.

El software LOGO V8.2 es utilizado para la configuración del PLC SIEMENS LOGO, con diagramas de fácil elaboración, con múltiples herramientas útiles que facilitan la captura de información en hojas de cálculo, facilitando así la captura de tablas y la elaboración de gráficos.

## **CONCLUSIONES**

El constructo doble cerclaje en las fracturas articulares simples de olécranon es, biomecánicamente hablando, estable en el modelo cadavérico. Por lo que podrían realizarse pruebas en pacientes como alternativa al cerclaje obenque.

El dispositivo electromecánico neumático computacional diseñado permite simular ciclos de flexo extensión del codo lo más fisiológico posible con fuerzas regulables y rangos de movilidad ajustables.

En el cerclaje Obenque la estabilidad rotacional está dada por los clavos kirshner colocados paralelamente; El objetivo del actual estudio es determinar la estabilidad del doble cerclaje en flexión y extensión; por lo que no se probó la estabilidad rotacional de este constructo; Es posible que la integridad de los ligamentos colaterales del codo sea de vital importancia para la estabilidad del constructo.

El software LOGO V8.2 y el PLC SIEMENS LOGO son partes fundamentales para la realización, el cual es útil y fácil de usar.

## LITERATURA CITADA

- (Doblaré, M. Y J. M. Garcia- Aznar 2000), *Simulación del Comportamiento Óseo*. Zaragoza, España: Real Academia de Ingeniería.
- Monreal, R. (2005). *Comportamiento de la tibia solicitada a compresión. (Un modelo experimental)*. Hermosillo .
- Ocampo - Villalobos, J. (2014). *Neutralización de solicitaciones en flexión en fracturas de fémur tratadas con fijador externo*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fierro, A. (2015). *Valoración de las solicitaciones en flexión en tibia con diferente configuración de fijador externo tipo Charnley-Müller: Estudio biomecánico*. Hermosillo.
- Vázquez - Gálvez, R. (2014). *Estabilidad de las fracturas intra articulares de calcáneo, mediante fijación externa, estudio biomecánico*. México, D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fitzgerald, (2002), Herbert Kaufer, Arthur L. MD. Malkani, MD. *Ortopedia. Tomo I. Biomecánica y Biomateriales*. Pag.130-140. Ed. Panamericana 2002
- Cailliet, R. (2006). *Anatomía Funcional del codo*. En Cailliet, R. (págs. 145-151). Marbán
- Zukerman, J.D. Et al., (2004). *Biomecánica del codo. En M. F. Nordin, Biomecánica básica del sistema musculoesquelético* (págs.352-367). Madrid: McGraw-Hill-Interamericana.
- Kapandji, A. I. (2006). *Fisiología Articular. Tomo I*, Pág. 76-102. Madrid: Médica Panamericana.
- Thompson J. (2004) *Netter Atlas Práctico de anatomía Ortopédica*, Cap. 3 Págs. 66-85. Masson 1era Ed.
- García G.(2016)Dispositivo biomecánico para pruebas dinámicas. Estabilidad del obenque en fracturas de Olécranon. México, D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México.
- Roukoz (2016)Bayoud W. *Wireless tension band wiring for olecranon fractures*. Case series. J Med Liban 2016; 64 (3): 160-163.
- Veillette (2008)Sc, FRCSC, Scott P. Steinmann, MD, *Olecranon Fractures*, Orthop Clin N Am 39 (2008) 229–236
- Catalano, L. W., Crivello, K., Lafer, M. P., Chia, B., Barron, O. A., & Glickel, S. Z. (2011). *Potential Dangers of Tension Band Wiring of Olecranon Fractures: An Anatomic Study*. *The Journal of Hand Surgery*, 36(10), 1659–1662.

Scott H. Kozin, MD, Lawrence J. Berglund, BS, William P. Cooney, MD, Bernard F. Morrey, MD, and Kai-Nan An, PhD, Rochester, Minn, (1996) *Biomechanical analysis of tension band fixation for olecranon fracture treatment*. by Journal of Shoulder and Elbow Surgery Board of Trustees. *Shoulder and Elbow Surgery* 5:442-8

K.W. Chan, K.J. Donnelly (2013). *Does K-Wire Position in tension band wiring of olecranon Fractures affect its complications and removal of metal rate?*. *Journal Of Orthopaedics* 12 (2015) 111-117

Tsan-Wen Huang, MD, Chi-Chuan Wu, MD, Kuo-Feng Fan, MD, I-Chuan Tseng, MD, Po-Cheng Lee, MD, and Ying-Chao Chou, MD (2010), *Tension Band Wiring for Olecranon Fractures: Relative Stability of Kirschner Wires in Various Configurations*, *J Trauma*. 2010;68: 173–176

Wilson J. (2011) *Biomechanical Comparison of interfragmentary compression in transverse fractures of the olecranon*, *The Journal of Bone & Joint Surgery* 245-250

Stanley Hoppenfield (2004), *Fracturas Tratamiento y Rehabilitación, Fracturas de olecranon* Págs: 141-154, Marban.

Florit, J. (2009) *Abordaje integral de fractura de codo en paciente adulto*. Córdoba, Argentina: eFisioterapia.

Campos R. (2016), *Resistencia de la tibia con pérdida ósea: Estudio biomecánico aplicado a cargas cíclicas*. . México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.