



**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**

**MEDICIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA Y POLARIDAD EN FRACTURAS  
CERRADAS DE TIBIA BAJO EL EFECTO MAGNÉTICO**

QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD DE ORTOPEDIA

PRESENTA:

Juan Pablo Flores Pinzón

**DIRECTOR DE TESIS:** **David Lomelí Zamora**  
Hospital General del Estado de Sonora

**CODIRECTOR DE TESIS:** **Nohelia G. Pacheco Hoyos**  
Universidad de Sonora  
Hospital General del Estado de Sonora

**COMITÉ TUTOR:** **Reginaldo Cadena Vega**  
Hospital General del Estado de Sonora  
**Juan Pablo Contreras Félix**  
Hospital General del Estado de Sonora

**Hermosillo Sonora; julio 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

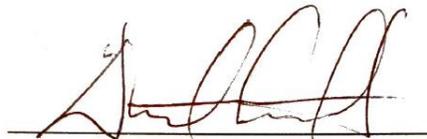
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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, Juan Pablo Flores Pinzón y lo encuentran adecuado para continuar con su proceso de titulación para obtener su grado de médico especialista en Ortopedia.



David Lomeli Zamora  
Tutor principal  
Hospital General del Estado de Sonora



Nohelia G. Pacheco Hoyos  
Codirector de tesis  
Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora  
Hospital General del Estado de Sonora



Reginaldo Cadena Vega  
Miembro del comité tutorial  
Hospital General del Estado



Juan Pablo Contreras Félix  
Miembro del comité tutorial  
Hospital General del Estado de Sonora

Hospital General del Estado  
"Dr. Ernesto Ramos Bours"  
División de Enseñanza e Investigación  
No. de oficio: SSS/HGE/EM/292/17  
Hermosillo, Sonora a 26 de julio de 2017

2017 "Centenario de la constitución,  
Pacto Social Supremo de los Mexicanos"

## 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: **JUAN PABLO FLORES PINZÓN**; cuyo título es: "**MEDICIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA Y POLARIDAD EN FRACTURAS CERRADAS DE TIBIA BAJO EL EFECTO MAGNÉTICO.**" 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; reconociendo que el contenido e información presentados en dicho documento son responsabilidad del autor de la tesis.

**ATENTAMENTE**



**DR. JUAN PABLO CONTRERAS FÉLIX**  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ENSEÑANZA E  
INVESTIGACIÓN  
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO



**M en C. NOELIA G. PACHECO**  
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y MÉTODOS DE ANÁLISIS  
DIVISIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN



C.c.p. Archivo  
NGPH

## AGRADECIMIENTOS

A la universidad Nacional Autónoma de México.

A la Secretaría de Salud del Estado de Sonora.

A nuestra sede de trabajo, el Hospital General del Estado "Dr. Ernesto Ramos Bours".

A los miembros del comité de tesis por su valioso tiempo y dedicación.

## **AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL**

### **A mis maestros.**

Por brindarme siempre lo mejor de sí, gracias por su tiempo, sus consejos y disciplina que nos fortalece el carácter médico quirúrgico.

### **A mi familia.**

Por vigilar cada paso de mi carrera profesional, porque me han brindado el apoyo necesario, para continuar dando lo mejor de mí

### **A mi compañera de vida**

Por compartir todos esos momentos de felicidad y de amargura sin dar paso atrás.

### **A los ingenieros y alumnos del Instituto Tecnológico de Hermosillo.**

Por apoyarme en la realización de este proyecto, gracias por su tiempo y dedicación.

### **A mis colegas.**

Por compartir estos cuatro años llenos de gratas experiencias

### **A los pacientes.**

Por brindarme la oportunidad de interactuar en su vida ya que también son nuestros maestros.

## **DEDICATORIA**

**A mí familia y a mi compañera de vida.**

**Con educación y disciplina, no hay temor frente a la vida.**

## INDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
3	JUSTIFICACIÓN.....	4
4	OBJETIVOS.....	6
4.1	OBJETIVO GENERAL:.....	6
4.2	OBJETIVOS PARTICULARES: .....	6
5	HIPÓTESIS CIENTÍFICA.....	7
5.1	PREDICCIONES HIPOTÉTICAS:.....	7
6	MARCO TEÓRICO .....	8
6.1	Magnetismo .....	8
6.2	Consolidación ósea y piezoelectricidad .....	8
6.3	Uso del imán en la consolidación ósea .....	10
7	MATERIALES Y MÉTODO .....	18
7.1	Diseño del estudio.....	18
7.2	Población y periodo de estudio.....	18
7.3	Criterios de selección.....	18
7.3.1	Criterios de inclusión.....	18
7.3.2	Criterios de exclusión .....	19
7.3.3	Criterios de eliminación.....	20
7.4	Categorización de las variables según la metodología .....	20
7.4.1	Variables independientes .....	20
7.4.2	Variables dependientes .....	21
7.5	Descripción metodológica del estudio.....	22
7.6	Recursos empleados.....	25
7.7	Aspectos éticos de la investigación.....	26

8	RESULTADOS.....	28
9	DISCUSIÓN.....	33
10	CONCLUSIONES .....	36
11	RECOMENDACIONES .....	37
12	ANEXOS.....	42

## **LISTA DE CUADROS**

**Cuadro 1. Tipo y descripción del estudio de investigación.**

**Cuadro 2. Descripción de variables.**

**Cuadro 3. Recursos implementados en el estudio.**

## **LISTA DE FIGURAS**

**Figura 1. Multímetro digital BK PRECISION 2707B.**

**Figura 2. Medición de voltaje en la cortical de la tibia sin fractura.**

**Figura 3. Medición de voltaje en la cortical del hueso con trazo de fractura, con y sin efecto magnético.**

**Figura 4. Medición de voltaje y amperaje en el paciente con tibia sana con y sin el efecto magnético.**

**Figura 5. Medición de voltaje y amperaje en el paciente con trazo de fractura sin el efecto magnético y con el efecto magnético.**

**Figura 6. Espécimen de cadáver tibia derecha.**

**Figura 7. Modelo cadavérico tibia derecha.**

**Figura 8. Modelo cadavérico bajo influencia magnética.**

**Figura 9. Generador de funciones.**

**Figura 10. Osciloscopio.**

**Figura 11. Equipo de trabajo.**

**Figura 12. Aplicación de campo magnético en tibia con trazo de fractura y medición.**

**Figura 13. Aplicación de campo magnético en tibia con trazo de fractura y medición.**

**Figura 14. Preparación del paciente.**

**Figura 15. Aplicación de electrodos proximal y distal a tibia.**

## **RESUMEN**

El efecto de una corriente eléctrica en el hueso se ha estudiado por más de 120 años para mejorar la respuesta osteogénica del hueso en el manejo de las fracturas. Actualmente la modalidad del campo magnético en la medicina está creciendo por sus efectos anabólicos en el hueso, acelerando el proceso de consolidación e integración rápida del individuo al medio laboral. El objetivo de este estudio es medir el potencial eléctrico y polaridad de una tibia sana y fracturada bajo el efecto de un campo magnético. Se midió con un multímetro digital el comportamiento de la corriente eléctrica al pasar por el hueso de la tibia. El estudio se realizó en dos fases; primero en un modelo cadavérico, donde se midió el paso de la corriente eléctrica con y sin trazo de fractura. También se midió al aplicarle un campo magnético de 30 000 miligauss; para la segunda fase se midió el comportamiento de la corriente eléctrica con y sin el campo magnético en las tibias de un paciente, en la tibia sana y en tibia con trazo de fractura cerrada con trazo simple. En la medición de una tibia sana se registró de 216 a 390 miliamperios, 42 milivoltios. Este mismo bajo el efecto magnético se registró de 400-900 miliamperios, 72 milivoltios. En la tibia fracturada presentó una electronegatividad de -120 a -200 miliamperios, -30 milivoltios, esta misma bajo el efecto magnético registró 0.85 a -900 miliamperios, 0.2milivoltios a -74 milivoltios. Los resultados de este estudio demuestran que es posible la medición de los potenciales eléctricos y su polaridad en el hueso sano y con trazo de fractura simple en la tibia. La tibia tiene un diferencial de potencial eléctrico y un sentido, el cual se dirige de proximal a distal. Es reproducible el aumento de la magnitud del voltaje, bajo un campo magnético en la tibia sana y en una tibia con trazo de fractura.

## **ABSTRACT**

The effect of an electrical current on the bone has been studied for more than 120 years to improve the osteogenic response of bone in the management of fractures. Currently the modality of the magnetic field in the medicine is growing by its anabolic effects in the bone accelerating the process of consolidation and rapid integration of the individual to the work environment. The objective of this study is to measure the electrical potential and polarity of a healthy and fractured tibia under the effect of a magnetic field. It was measured with a digital multimeter the behavior of the electric current when passing through the bone of the tibia, was carried out in two phases; First in a cadaveric model, where the passage of the electric current was measured, with and without fracture stroke it was also measured by applying a magnetic field of 30 000 Miligauss, for the second phase, the behaviour of the electric current was measured with and without the magnetic field in the tibiae of a patient, in the healthy tibia and in tibia with a stroke of closed fracture with simple stroke. The measurement of a healthy tibia registered 216 to 390 milliamperes, 42 millivolts. This same under the magnetic effect was recorded from 400-900 milliamps, 72 millivolts. In the fractured tibia electronegativity was registered of -120 to -200 milliamperes, -30 millivolts, this same under the magnetic effect register 0.85 to -900 milliamps, 0.2 milliliters to -74 millivolts. The results of this study demonstrate that it is possible to measure electrical potentials and their polarity in a healthy bone and in a fractured tibia. The tibia has an electric potential which is directed from proximal to distal. It is possible to increase the magnitude of the voltage under a magnetic field in the healthy tibia and in the fractured tibia.

# 1 INTRODUCCIÓN

La materia, cada elemento que la conforma se encuentra constituido por la unión de átomos, los cuales encontramos agrupados como moléculas. La materia se encuentra conformada por átomos, los cuales poseen protones, neutrones y electrones; estos últimos se encuentran en movimiento a su alrededor y son capaces de modificar su eje giratorio al ser sometidos a un campo magnético debido a que los electrones al moverse generan una corriente eléctrica y a su vez también generan un campo electromagnético (Serway, 2012).

El planeta tierra se encuentra bajo el efecto de un campo magnético, casi todo el tiempo invisible. Éste ha servido de escudo frente a amenazas constantes del espacio; como es conocida la radiación solar. Estas partículas son detenidas casi en su totalidad gracias al campo magnético, el cual se produce debido al núcleo de hierro y la rotación del planeta (López Vázquez, 2010).

La electricidad es elemental para el origen y desarrollo de la vida en el ser humano, esta se genera gracias al proceso bioquímico celular, esta recorre el organismo mediante materiales y medios especiales conocidos como electroconductores. En el cuerpo humano un medio apto para el transporte de electrones está relacionado al sodio, potasio y cloro, los cuales son elementos en abundancia, como el agua; la cual constituye el 70% del cuerpo humano, los conductores se conforman de fibras orgánicas como; colágeno, elastina y las reticulares, estas se encuentran con una alta especialización sirven de mediadores para llevar a cabo al mismo tiempo múltiples funciones en diferentes sitios del organismo; desde el proceso del pensamiento hasta coordinación de la marcha (Marino, 1980).

El organismo posee una excelente adaptación para regular y aprovechar los cambios de voltaje y polaridad que se generan a nivel celular en un hueso durante el proceso de la locomoción originándose un fenómeno piezoeléctrico mismo que depende del lado a ser sometido a la compresión o tensión en la cortical del hueso, creándose del lado compresivo una electronegatividad que genera osteogénesis y en la de tensión permanece positivo pudiendo llegar a un catabolismo óseo si permanece por periodos prolongados de tiempo, es así que en la marcha estos dos factores se alternan provocando una reestructuración del hueso para dar más soporte a la carga axial (Duarte, 2013).

El cuerpo humano posee un sistema de conducción eléctrico altamente especializado. Al existir una patología, ya sea metabólica, anatómica o mecánica, la conducción se altera. Por mencionar encontramos que, hematológicamente las alteraciones de la polaridad de la membrana del eritrocito conllevan a un decremento en el potencial zeta y ocurre una aproximación entre las células (Castaño López, 2014).

En las fracturas de huesos largos en el foco de fractura existe una alteración de la corriente eléctrica o una conversión de la misma obteniendo mediciones electronegativas, esta variación tiene como finalidad el llamado de los principales mediadores de reparación del foco de fractura, primero reclutando células sanguíneas y fibrina para estabilizar el hematoma (Bucholz, 2012).

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad se cuenta con el conocimiento y la seguridad de dispositivos de emisión de pulsos de campos electromagnéticos para mejorar el proceso de la consolidación ósea como consecuencia de años de investigación (Zayas Guillot, 2002). La aplicación de un generador de campo magnético a un área específica en el cuerpo humano va de la mano con el conocimiento del tema a profundidad. La aplicación de un dispositivo que suministre un campo magnético en una patología ósea, ha generado beneficios para el paciente con pseudoartrosis siendo un excelente arma para su manejo, como lo expresa Martínez-Rondanelli, (2014).

Necesitamos mediante nuestros conocimientos en la ciencia demostrar mediante un modelo cadavérico anatómico el comportamiento en el flujo eléctrico con y sin un efecto del campo magnético para poderlo plasmar en un paciente, y así generar un antecedente de medición bajo influencia externa en un hueso sano y uno fracturado.

La complejidad del tema es un punto fuerte que limita el uso de la estimulación externa mediante el campo magnético, además de la exclusión o aceptación por instituciones de formación médica debido a la poca aceptación en el ámbito médico. Otro punto a tratar es la poca accesibilidad que tenemos para obtener un equipo con ciertas especificaciones y fácil operatividad, los costos de producción son altos y no se aprovecharía en su totalidad, por ende, se deberá comprender ampliamente el proceso metabólico y físico que son sometidos los tejidos biológicos del cuerpo humano en la consolidación ósea al aplicarle un campo magnético.

### 3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación busca esclarecer y acercar al público interesado en la aplicación de este recurso de estimulación externa mediante el efecto magnético enfocado a patología ósea de difícil manejo, el entendimiento del patrón y proceso fisiológico de la consolidación bajo esta influencia de estímulo externo. Siendo éste el primer paso hacia la orientación del uso del campo magnético en la práctica médica moderna de manera más convencional en fracturas de huesos largos. Para poder realizar un tratamiento óptimo surge la necesidad de tener bases teóricas y prácticas para el uso de los dispositivos en nuestro campo clínico.

Se justifica la búsqueda de datos, medición de corriente eléctrica mediante tejido biológico humano (tibia de cadáver fresco) y en la persona o paciente; con la finalidad de obtener el conocimiento científico y de esta manera realizar ajustes para su ejecución final como tratamiento adyuvante. El ser humano fue capaz de percatarse de las alteraciones fisiológicas en su cuerpo como lo describen en su trabajo de la piezoelectricidad en el hueso Fukada & Yasuda en 1957. Los autores dieron a conocer el mecanismo por el cual los esfuerzos mecánicos resultan en polarización eléctrica siendo un efecto indirecto. También se observó que la aplicación de un campo eléctrico causa deformación (Duarte, 2013).

Siguiendo con las investigaciones del efecto de la corriente eléctrica; en el hueso se han aplicado diferentes experimentos en animales y en humanos, pudiendo constatar el crecimiento de tejido aceleradamente mediante cargas eléctricas aplicadas con electrodos directamente al hueso (Lagey, 1986). En otros estudios que se han realizado en seres humanos que comparten la misma meta, es decir; la mejora en el tratamiento de las lesiones

del organismo, se encontró que la estimulación con 100 microamperios es suficiente para tener buenos resultados en artrodesis espinal y en pseudoartrosis, demostrando la efectividad al aplicar corriente directa al hueso con neoformación del mismo (Griffin, 2011). Del mismo modo se han realizado otros sistemas de circuito cerrado donde se hace pasar corriente eléctrica por periodos cortos de tiempo durante un mes; se aplicaron 5 voltios a 6 microamperios, con la finalidad de mejorar los resultados en el alargamiento óseo en perros, se encontró una mejor densidad ósea al mes de uso. Al realizar cortes de tejido se contaba con tejido ya especializado mientras en el otro grupo de control solo había tejido de reparación fibroso (Peña, 2016).

Es necesario realizar un experimento de medición donde se observe las alteraciones que sufre la corriente eléctrica en el tejido biológico óseo bajo la influencia del campo magnético. Lo anterior debido a que éste, es uno de los protagonistas en el origen de todos los procesos mecánicos, físicos y químicos que confieren la capacidad de consolidación temprana (Marino, 1980). Debido a que no se ha realizado algún estudio similar nos encontramos abriendo brechas metodológicas y creando bases para futuros proyectos de seguimiento; bajo el entendido de que se ha respetado todas las bases metodológicas, bioéticas y legales que requiere la investigación biomecánica (ver anexos). Además, la aplicación de este conocimiento a nivel nosocomio posiblemente tendrá gran impacto en el ámbito medico y social ya que se cuenta con un gran número de pacientes que cursan con patología ósea de difícil manejo.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Explorar la magnitud y dirección de los arcos de electricidad en la tibia y su categorización bajo influencia de un campo magnético.

### **4.2 OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Evaluar la diferencia de potencial eléctrico en una tibia sana y otra con trazo de fractura en un paciente.
- Medir la diferencia de potencial eléctrico en una tibia sana y otra con trazo de fractura de un paciente, bajo un campo magnético.
- Examinar la dirección del flujo eléctrico de una tibia sana y una tibia con trazo de fractura de un paciente y comparar el flujo eléctrico cuando se aplica un campo magnético.

## **5 HIPÓTESIS CIENTÍFICA**

Al medir una corriente eléctrica en la tibia de una persona con trazo de fractura tras aplicarle un campo magnético, se espera obtener un voltaje superior al medido inicialmente.

### **5.1 PREDICCIONES HIPOTÉTICAS:**

- Al realizar la medición en una tibia sana y otra con trazo de fractura en el paciente se espera observar la electronegatividad generada en la tibia fracturada.
- Al examinar el diferencial de potencial eléctrico en una tibia sana y otra con trazo de fractura se apreciará un aumento en el voltaje respecto a la medición inicial al aplicarle un campo magnético.

## **6 MARCO TEÓRICO**

### **6.1 Magnetismo**

La fuerza magnética es un fenómeno natural por el cual los objetos ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales. (Bushow, 2004). El concepto de magnetismo se introdujo por Tales de Mileto, el primero de los Siete Sabios para entender los fundamentos esenciales sobre la interacción de la naturaleza y fuerza de atracción. Así como la fuerza de gravedad y la fuerza electroestática (Page, 2007).

En 1831 Faraday y Joseph Henry de Estados Unidos, descubren casi al mismo tiempo y en forma independiente, que en un circuito se inducía una corriente eléctrica cuando otra corriente eléctrica adyacente se veía alterada o cuando un imán se acercaba o se alejaba del circuito. Faraday fue el primero en publicar los resultados de sus experimentos, y en su honor se establece la conocida “ley de la inducción de Faraday” o “ley de inducción electromagnética”, la cual dice que la fuerza electromotriz (f.e.m.) inducida en un circuito es proporcional a la tasa de variación temporal del flujo magnético a través del circuito. En términos matemáticos, la ley de Faraday se escribe: Actividad

Utilizando dos bobinas solenoidales, una conectada a una fuente de corriente y otra a un amperímetro, este fenómeno también puede ser observado reemplazando la bobina conectada a la fuente, por un imán (Serway, 2012).

### **6.2 Consolidación ósea y piezoelectricidad**

La consolidación ósea, desde un punto de vista biológico, empieza en el instante de la fractura. Es un proceso biológico y mecánico conformado por cuatro fases: formación de hematoma, inflamatoria, reparación y remodelación. La fase inicial de la consolidación es

la formación de hematoma (Reina, 2014). Debido a micro traumatismos vasculares locales, se desarrolla un hematoma. La fase inflamatoria se caracteriza por una reacción inflamatoria local e induce el reclutamiento y la activación de los precursores a través de una cascada enzimática, con participación de factores de crecimiento y activadores de la actividad celular las principales siendo: interleucinas IL 1, IL 6, IL 11, IL 18 y factor necrosis tumoral alfa. Esta organización precoz explica la importancia de conservar el hematoma fracturario y la consecuencia de su desestabilización en las fracturas abiertas. La reparación es la tercera fase, se caracteriza por la diferenciación de células mesenquimales pluripotenciales. (Winn, 2017). El hematoma de la fractura es invadido por condroblastos y fibroblastos, que forman la matriz del callo. Inicialmente, se forma un callo blando, compuesto principalmente por tejido fibroso y cartílago con pequeñas cantidades de hueso. Posteriormente los osteoblastos son responsables de la mineralización de este callo blando, convirtiéndolo en un callo duro de tejido esponjoso e incrementando la estabilidad de la fractura. Este tipo de hueso es inmaduro y frágil a la torsión, por lo que no puede ser sometido a estrés. Los retrasos de consolidación y la ausencia de consolidación son el resultado de los trastornos en esta fase. Los modelos teóricos asociados con el modelado de los huesos han demostrado el potencial eléctrico se genera cuando él mismo es sometido a cargas o esfuerzos mecánicos. Dicho potencial puede influenciar la respuesta ante solicitudes funcionales; es así que se ha postulado que el potencial negativo generado por la deformación mecánica en la superficie del hueso mejora la formación de nuevo tejido óseo, contribuyendo en el proceso de curación y reparación (Duarte, 2013). El fenómeno de la piezoelectricidad en función de corrección de la fractura estabilizada al tener apoyo controlado en laboratorio se ha observado mediante electrodos que genera una carga de  $10^6$   $10^{14}$  ohms, siguiendo las mismas características donde se da el apoyo o carga mecánica se

polariza negativamente y del otro lado que no recibe estrés se carga positivamente (Bassett, 1962). La última fase es la remodelación, que requiere de meses hasta años para completarse. Consiste en una actividad osteoblástica y osteoclástica que provoca el reemplazamiento de un hueso esponjoso inmaduro y desorganizado, por un hueso maduro organizado que añade más estabilidad al foco de fractura.

Con el tiempo el canal medular se reforma gradualmente. Hay una resorción ósea de las superficies convexas y una neoformación en las superficies cóncavas. Este proceso permite la corrección de deformidades angulares, pero no de las rotacionales. Radiográficamente ya no se ve la fractura (Hoppenfeld, 2004). Después de que se produce una fractura, el foco fracturario se convierte electronegativo, mismo que va disminuyendo hasta alcanzar su positividad a medida que termina el proceso de consolidación (Bucholz, 2012).

### **6.3 Uso del imán en la consolidación ósea**

En México se trabaja en investigaciones básicas relacionadas con la aplicación de los campos magnéticos en Medicina. El movimiento del Fórum Nacional de Ciencia y Técnica ha sido un extraordinario impulsor de la aplicación del magnetismo en la salud en los últimos 12 años. Clasifican los efectos biológicos de los campos magnéticos, primario; responsable de la orientación de moléculas y átomos dipolares, se produce sobre elementos con momentos magnéticos no nulos con las siguientes acciones; modificación de la permeabilidad de membranas, estabilización de la bomba de sodio, favorecimiento de los procesos de enlace, estimulación de la reproducción celular. Efecto biológico secundario con efecto directo el cual produce la polarización eléctrica de la masa de un cuerpo o la creación de cargas eléctricas en su superficie, cuando se somete a fuerzas mecánicas. Un

efecto inverso de deformación de un cuerpo cuando se le somete a un campo eléctrico, orientación arquitectónica de las trabéculas óseas en zona dañadas, un efecto metabólico el cual es responsable de todos los procesos troficoestimulantes y de reparación tisular, mediante control local del riego sanguíneo de cada tejido, control nervioso del riego sanguíneo de grandes segmentos de la circulación, control humoral de determinadas sustancias que aumentan o disminuyen el riego sanguíneo (Zayas Guillot, 2002).

El magnetismo es un fenómeno que surge espontáneamente en la naturaleza, especialmente en los cuerpos con composición férrica donde interviene carga eléctrica, creando fuerzas de atracción y repulsión llamados polos magnéticos. Los efectos biológicos son determinados por las características del campo (dirección, intensidad, frecuencia, y tipo de onda) de cada individuo. Los campos magnéticos usados en medicina los de baja frecuencia (0-100 Hz) y de baja intensidad (5-100 Gauss) tienen efectos en diversos procesos enzimáticos y celulares como incrementar la permeabilidad de la membrana plasmática, actividad enzimática del citocromo, mejorar la circulación sanguínea, actividad inmunitaria, regeneración de los tejidos (activación de los fibroblastos con la producción de colágeno, angiogénesis, estimulación de la osteogénesis por la activación de osteoblasto, e incremento del suministro sanguíneo con inhibición de la hormona paratiroides). Los efectos se consiguen con la penetración del flujo magnético a través de la piel y estimula cualquier material, principalmente aquel cargado con hierro como la hemoglobina y el oxígeno, con actividad antiinflamatoria sin efectos adversos. (Cosino, 2007).

En general existen tres tipos de modalidad usados para el tratamiento de fracturas del hueso. Está la estimulación con corriente directa, estimulación por acoplamiento capacitivo y pulsos de campo electromagnético. En este último se aprecia mayor área de

afectación siendo no invasiva. En 1974 Basset et al., reconocieron el uso del campo electromagnético para el tratamiento de las fracturas. Durante su experimento se analizaron 43 pequeños perros de raza terrier a cuales se les aplicaron osteotomía femoral. Ellos encontraron con cargas de frecuencia baja a 65 Hz, la consolidación del hueso era mayor comparada con otras ondas de frecuencia baja de campos electromagnéticos. En 1979, en Estados Unidos la asociación de FDA (Food and Drug Administration) aprobó la promoción del pulso de campo electromagnético en el tratamiento de fracturas. En 1980 Downes y Whatson utilizaron el mismo sistema del campo magnético para el tratamiento de fracturas no consolidadas y encontraron una tasa de 70% de éxito. Tambien, Liang et al., (2009) usaron un amplio rango de campos electromagnéticos para la estimulación de osteoblastos, estos encontraron una proliferación de osteoblastos con adición de que el voltaje usado afecta directamente los canales de calcio, el flujo de iones dentro y fuera de la membrana celular.

Hace más de 50 años Yasuka y Fukada demostraron, por inducción eléctrica, la aparición de neoformación ósea en la vecindad de un electrodo activo, durante tres semanas en el fémur de un conejo. También descubrieron un fenómeno conocido como piezoeléctrico, es decir, en un hueso que es sometido a una determinada compresión aparece, en el lado de la concavidad, una carga negativa y en el lado de la convexidad una carga positiva. Fukada (1954) demostró la presencia de potenciales que aparecen en relación con las solicitudes mecánicas del hueso, y sus estudios posteriores han demostrado que su aparición depende de la estructura colágeno-mineral del hueso. Muchos autores coinciden en que inmediatamente después de las fracturas hay una inversión de la polaridad y toda la diáfisis se hace negativa en relación con la epífisis, y que microcorrientes, alterna

y directa, tienen un efecto de osteogénesis. El método no invasivo del campo magnético pulsátil engendrado entre 2 bobinas, según los principios señalados por Bassett, de 2 Gauss y 1,5 mv/cm durante algunas horas produjo en 387 pacientes con pseudoartrosis posfractura un promedio de 77% de consolidación. Brighton con el método no invasivo del campo electromagnético sinusoidal de 60 khz y 5 v obtuvo el 77,3% de unión. Actualmente podemos encontrar en la literatura médica varias publicaciones relativas al uso de la electricidad en la reparación de fracturas y pseudoartrosis, sobre todo las que han sido tratadas con inmovilización asociadas a estímulos eléctricos con un aparato galvánico haciendo llegar la corriente directamente al hueso o periostio por medio de agujas de acupuntura. En Cuba el profesor Ceballos Mesa a partir de los años ochenta, comenzó a introducir en la terapéutica de las fracturas los estímulos eléctricos y electromagnéticos, con resultados que avalaron su posterior utilización por muchos centros del país (Pérez Rivera 2011).

Otros estudios aplicados a través de la historia como método no invasivo se encuentra el dispositivo de DeHaas el cual se calibraba para cada paciente y se colocaba con un campo magnético muy baja intensidad con un pulso muy rápido. Se reportó con una tasa de éxito de 80 a 85%. Se uso otro dispositivo con un campo alto de fuerza de 200 Gauss con pulso a 1Hz. Se reportó tasa de éxito similar al de Bassett con un uso de 20 horas al día de seis a 12 semanas, se usaba una férula para el soporte del magneto. Alan Dwyer en Australia cerca de 1971 promovió la fusión espinal posterior. En su trabajo incluía la estimulación en fracturas con pseudoartrosis y defectos del hueso también con tasas de éxito del 80 al 85%, uso un sistema donde no es posible aplicar el magneto externamente. Esto fue posible con el uso de placas y tornillos, siendo la desventaja la

operación, los implantes fueron removidos a los seis meses. Encontraron factores de mal pronóstico donde no recomiendan el uso del campo magnético en osteomielitis, necrosis avascular (Cameron, 2012).

La no-uni3n y el retardo en la consolidaci3n son complicaciones comunes en el tratamiento de las fracturas de huesos largos, incluido el f3mur. En Colombia, hasta el 25% de las fracturas de f3mur no se ha consolidado despu3s de seis meses de tratamiento, lo cual acarrea consecuencias socio-econ3micas tanto para el paciente como para la sociedad. En la universidad del valle en Colombia en los a3os 2008-2009 se realiz3 otro estudio para observar el comportamiento de la consolidaci3n en el f3mur bajo el efecto del campo magn3tico, incluy3 a 63 pacientes al final del estudio, a la mitad de los pacientes se aplic3 un dispositivo capaz de generar campo magn3tico de baja frecuencia (5-105 Hz) y para campos magn3ticos entre 0.5-2.0 mT, y el resto se aplic3 mismo dise3o del dispositivo sin actividad magn3tica. En este estudio, la consolidaci3n de la fractura se alcanz3 m3s r3pido cuando los pacientes recibieron la terapia electromagn3tica en comparaci3n con la del placebo, en la semana 12 la consolidaci3n se consigui3 en 75% vs 58% y en la semana 18 94% vs 80%. Esto demuestra una tendencia en la que m3s pacientes tienen la fractura consolidada en menor tiempo cuando usaron la terapia electromagn3tica como coadyuvante del tratamiento.

Esta tendencia observada en la velocidad de la consolidaci3n de las fracturas tiene implicaciones relevantes. Al consolidar m3s pronto, el paciente logra apoyar m3s r3pido, alcanzar antes su independencia y funcionalidad, lo que facilita su retorno al trabajo y actividades b3sicas cotidianas, teniendo esto impacto social, psicol3gico y econ3mico para el paciente, su familia y la sociedad ( Mart3nez-Rondanelli, 2014).

Los cambios que se obtienen con la fuerza magnética por si sola es capaz de deformar la membrana plasmática, causando cambios en la tensión de actomiocina y promover la reorganización del citoesqueleto. Magnéticamente induce reajustes del citoesqueleto pudiendo activar diferentes mecanorreceptores ensamblados en el plasma de la membrana como el ajuste activado de canales de iones e integrinas.

Los eventos celulares son mediados por Rho/ROCK y MAPK mecanotransductores, los cuales son ligados a la regulación del ciclo celular y directamente relacionada a la proliferación celular (Santos, 2015). El compartimento de regeneración o el compartimento de células madre abarcan el sitio de la lesión donde se produce la curación. Se trata de un microambiente altamente complejo compuesto generalmente de células madre, vasos sanguíneos, factores de secretados entre muchos otros, como las células inflamatorias, los tejidos específicos como células y proteínas de la matriz extracelular, la reparación endógena del tejido se beneficia de la interacción entre estos componentes con una mecánica adecuada ambiental. Estos andamios son vitales para proporcionar soporte físico y mecánico para las células, y también puede proporcionar estímulos químicos que estimulan la curación tales como la proteína morfogenética de hueso 2 o factor de crecimiento de fibroblasto básico. Sin embargo, el proceso de regeneración no sólo se da por factores químicos, sino por señales mecánicas, y esto refleja un cambio de paradigma en la ingeniería de tejidos. Los materiales usados como andamios están ahora diseñados con rigidez de la concordancia de tejidos o la anisotropía, lo que resulta en una mejor reparación y regeneración (Santos, 2015).

Los mecanismos involucrados en este rápido y mejorado método de osteointegración no están confirmados aun a nivel celular. Los cambios biológicos son insignificantes cuando se expone a un campo magnético de manera crónica. En 2012 en la

India en el centro de investigación Hyderabad estado de Telangana desarrollaron un estudio con pacientes con patología en hueso alveolar maxilar, quienes recibirían implante dental, se dio seguimiento a los 30, 60,90 días tras colocar una dentadura que poseía imán de neodimio de 4.2mmx 2.85mm con un poder de 500 Gauss solo en un lado de la dentadura y en el otro sin dispositivo alguno después de colocar los implantes metálicos. Se observó un crecimiento acelerado de hueso alrededor del implante metálico en comparación con el lado que no se les aplicó el campo magnético, haciendo notoria diferencia estadística. (Gujalapudi, 2016).

Actualmente el uso de la terapia electromagnética es utilizado a nivel mundial para el manejo de fracturas. En Japón, los pioneros de la terapia electromagnética, realizaron un estudio en 2005 con huesos de ratas donde visualizaban microscópicamente los cambios del hueso fracturado y se medían los niveles de prostaglandinas E2 y fosfato alcalino. Chang Walter et al., encontraron que la terapia electromagnética acelera la curación del hueso fracturado y además aumenta los niveles de prostaglandinas E2 y fosfato alcalino en la primera y segunda semana post fractura. En el año 2013, se realizó un estudio en China donde Hong fei Shi et al., realizaron la aplicación temprana de la terapia electromagnética en 58 pacientes con fractura de huesos largos. Se dividieron en dos grupos donde el grupo 1 se le aplicó la terapia electromagnética y el grupo control. El grupo con mayor éxito fue el grupo 1 donde se observó un tasa de éxito del 77.4% en la unión temprana de fractura en comparación del grupo control que mostró una tasa de éxito de 48.1%.

En Europa la terapia electromagnética ha avanzado de fracturas al tratamiento de cáncer. Kranj et al.,(2015) realizaron un estudio in vitro de ratas con melanoma donde fueron expuestas a la terapia electromagnética en comparación con electroquimioterapia. El

grupo que recibió la terapia electromagnética demostró un retraso en el crecimiento del melanoma de 2.3 días en comparación de tres días. De igual forma, el uso de la terapia electromagnética demostró una disminución en el uso de otros medicamentos para reducir el efecto anti tumoral.

En Estados Unidos la FDA aprobó el uso de la terapia electromagnética para el tratamiento de varias patologías. Hay un aumento en las patologías psiquiátricas y el uso de este método demostrando éxito y disminuyendo los requerimientos de medicamentos. Otras patologías que demuestran mejoría son alzheimer, artritis, bronquitis, asma, hipertensión osteoporosis, dolor lumbar etc.

La terapia electromagnética es una alternativa en el tratamiento de varias patologías de difícil control como son esquizofrenia, estrés postraumática y enfermedad obsesiva compulsiva. Estos estudios realizados a nivel mundial son una apertura para nueva terapias sin el uso invasivo.

## 7 MATERIALES Y MÉTODO

### 7.1 Diseño del estudio

Cuadro 1. Tipo y descripción del estudio de investigación.

Tipo de estudio	Descripción
Experimental	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.
Analítico	Estudio donde se pueden establecer relaciones entre variables.
Especificaciones Generales	
Método de observación	Transversal
Temporalidad	Prospectivo
Diseño de estudio	Asignación no estadística, sin aleatorización en un modelo cadavérico y en vivo.
Tipo de análisis empleado	Descriptivo básico

### 7.2 Población y periodo de estudio

El estudio se realizó en una tibia de un cadáver masculino de 52 años de edad, obtenido del servicio de patología del hospital general del estado quien cumplió con los criterios de inclusión. Además se trabajó con un paciente femenino de 37 años de edad con fractura de tibia derecha quien también cumplió con los criterios de inclusión. Esto se realizó en el periodo de marzo a mayo 2017.

### 7.3 Criterios de selección

#### 7.3.1 Criterios de inclusión

##### **Muestra cadavérica:**

- Tibia sin enfermedades cronicodegenerativas, infectocontagiosas, malformaciones, osteomielitis, fractura previa, tumoraciones y osteoporosis.

### **Paciente:**

- Paciente con fractura cerrada de tibia con menos de siete días de evolución.
- Paciente capaz de tomar decisiones sin patología mental.
- Paciente con consentimiento informado.
- Paciente que sean localizables.

### **7.3.2 Criterios de exclusión**

#### **Muestra cadavérica**

- Fractura.
- Osteoporosis.
- Descomposición de espécimen.
- Osteomielitis.
- Deformidad congénita.
- Tumoración.

#### **Paciente**

- Paciente politraumatizado.
- Paciente con enfermedad crónica degenerativa.
- Paciente con marcapasos.
- Paciente con embarazo o lactancia, cualquiera con alteración en la conductividad eléctrica (antecedente de trauma en extremidades o fractura, hemiparaplejias, o paresias, enfermedad comisurales).
- Paciente con discrasias sanguíneas.

### **7.3.3 Criterios de eliminación:**

#### **Muestra cadavérica**

- Putrefacción.
- Fractura en ala de mariposa o conminuta.

#### **Pacientes**

- Dolor durante el estudio y paciente no desea continuar.

### **7.4 Categorización de las variables según la metodología**

Las variables en el estudio se dividieron en independientes y dependientes que conforme a su significado entendemos que una variable independiente es aquel fenómeno a la que se le va a evaluar su capacidad para influir, incidir o afectar a otras variables. Su nombre lo explica de mejor modo en el hecho de que no depende de algo para estar allí, y una variable dependiente se entiende por los cambios sufridos por los sujetos como consecuencia de la manipulación de la variable independiente por parte del experimentador. En este caso en nombre lo dice de manera explícita, va a depender de algo que la hace variar. Propiedad o característica que se trata de cambiar mediante la manipulación de la variable independiente. Las variables dependientes son las que se miden las variables utilizadas en el presente estudio se muestran en el Cuadro 2 y a continuación se desarrolla el significado de cada una de ellas:

#### **7.4.1 Variables independientes**

- Fractura de tibia del paciente es una solución de la continuidad del hueso la cual se mide de manera cualitativa mediante un estudio de imagen en este experimento se uso una radiografía simple visualizándola en dos proyecciones una anteroposterior y una lateral.

- Tiempo de evolución de la fractura en el paciente es el lapso de tiempo que tenemos para realizar el estudio que transcurre desde su lesión hasta los siete días, la medimos cuantitativamente por número de días.
- Voltaje externo es el potencial eléctrico expresado en voltios que fueron aplicados al modelo cadavérico de tibia, se mide cuantitativamente y la representamos como mV.
- Dirección de la corriente eléctrica, es la orientación espacial en la tibia por donde recorre el flujo de electrones, la medimos de manera cualitativa y la expresamos en positivo (+) o negativo (-).
- Campo magnético en aquel creado por la fuerza de los imanes la cual medimos cuantitativamente con el indicador de mG.

#### **7.4.2 Variables dependientes**

- Corriente eléctrica es la diferencia de potencial que fluye a través de la tibia la cual se mide cuantitativamente y se expresa en mV.
- Polaridad es la propiedad que tienen algunos agentes físicos de acumular sus efectos en puntos opuestos de ciertos cuerpos, como en terminales positivos o negativos en el hueso también lleva una carga eléctrica y se expresa en mV positivo (+) o negativo (-).
- Voltaje interno es la diferencia de potencial eléctrico generado por el mismo paciente el cual se mide cuantitativamente y se expresa con mV.

**Cuadro 2. Descripción de variables.**

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Escala de medición</b>	<b>Indicador</b>
Fractura de tibia	Independiente	Solución de continuidad de hueso	Cualitativa	Imagen en radiografía
Tiempo de evolución de fractura	Independiente	Fractura con menos de 7 días de evolución	Cuantitativa	Días
Voltaje externo	Independiente	Potencial eléctrico expresado en voltios aplicado a la tibia	Cuantitativa	mV
Dirección de corriente eléctrica	Independiente	Dirección del flujo de electrones en el hueso	Cualitativa	+ , -
Campo magnético	Independiente	Campo de fuerza creado por imán	Cuantitativa	mG
Corriente eléctrica	Dependiente	Diferencia de potencial que fluye a través de la tibia	Cuantitativa	mV
Polaridad	Dependiente	Terminal positivo o negativo en el hueso	Cuantitativo	Mv , +, -
Voltaje interno	Dependiente	Potencial eléctrico expresado en voltios encontrado en paciente	Cuantitativa	mV

## 7.5 Descripción metodológica del estudio

Se realizó el estudio en dos fases;

### Fase I:

**Primero:** se realizó el experimento en hueso de cadáver (tibia derecha), la cual fue extraída en su totalidad sin tejidos blandos, se colocaron dos polos de medición a cada lado del hueso, en la porción metafodiarfisiaria proximal y distal, introducidos hasta canal medular,

se le hizo pasar una corriente directa de 9 voltios conectado en circuito, se registró las lecturas con el medidor de voltaje (multímetro). Figura 1.



**Figura 1. Multímetro digital BK PRECISION 2707B**

**Segundo:** Se realizó mediciones a lo largo de la cortical del hueso a 1, 4, 9, 12, 16 y 20cm, con multímetro digital al aplicar 9 voltios.

**Tercero:** se aplicó un campo magnético de 30 000 miligauss al mismo tiempo de pasar los 9 voltios en la medición centromedular, los imanes se colocaron a una distancia de 5 cm del hueso en la diáfisis y medimos con el multímetro.

**Cuarto:** se aplicó un campo magnético de 30 000 mG a una distancia de 5 cm del hueso en la diáfisis al mismo tiempo de pasar los 9 voltios y realizamos mediciones en la cortical del hueso, en la distancia comprendida entre polo proximal y distal.

**Quinto:** se realizó una osteotomía en la diáfisis de la tibia mimetizando un trazo de fractura simple misma que se mantuvo en contacto al aplicarse 9 voltios en circuito por los polos proximal y distal, se midió con multímetro a nivel centromedular.

**Sexto:** al hueso de tibia con trazo de fractura se le separó 1 milímetro, se aplicó los 9 voltios en circuito y se tomo medición.

**Séptimo:** al mismo modelo cadavérico con del trazo de fractura unido se le aplicó los 9 Voltios por mismo polos y se midió el paso de voltaje a lo largo de la cortical en la distancia comprendida entre polo proximal y distal.

**Octavo:** al mismo modelo cadavérico, con trazo de fractura unido, se le aplicó los 9 voltios en circuito, al mismo tiempo se le aplico el campo magnético y realizamos medición centromedular

**Noveno:** al mismo modelo cadavérico, con trazo de fractura unido, se le aplicó los 9 voltios en circuito, al mismo tiempo se le aplicó el campo magnético y se realizó medición por su cortical en la distancia comprendida entre polo proximal y distal.

## **Fase II:**

En la segunda fase se realizó en un paciente de recién ingreso al hospital general del estado de sonora, contaba con menos de siete días de evolución, el cual cumplió con los criterios de inclusión y de exclusión, el estudio se realizó, bajo consentimiento informado firmado por el paciente enterado de los riesgos y beneficios.

**Primero:** colocamos electrodos a cada lado del trazo de fractura a una distancia de 10 cm en la tibia derecha y en la pierna sana a 20 cm entre polo proximal y distal, introduciéndolos hasta el canal medular a 3 cm, con protección plástica para evitar contacto de la piel.

**Segundo:** se midió la corriente eléctrica con multímetro en tibia sana colocando el electrodo positivo en el polo proximal y el negativo en el distal y viceversa.

**Tercero:** se midió la corriente eléctrica de la tibia sana mediante polos proximal y distal con multímetro con electrodo positivo proximal, negativo en distal y viceversa al aplicarle un campo magnético de 30 000 mG a 5cm de distancia del hueso.

**Cuarto:** se midió la corriente eléctrica con multímetro en tibia con trazo de fractura simple colocando el electrodo positivo en el polo proximal y el negativo en el distal y viceversa.

**Quinto:** se midió la corriente eléctrica de la tibia con trazo de fractura simple mediante polos proximal y distal con multímetro con electrodo positivo proximal, negativo en distal y viceversa al aplicarle un campo magnético de 30 000 mG a 5cm de distancia del hueso.

## 7.6 Recursos empleados

**Cuadro 3. Recursos implementados en el estudio.**

Recursos Humanos	Recursos Físicos	Recursos financieros
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Asesores médicos</li> <li>✓ Asesor metodológico</li> <li>✓ Asesores de ingeniería del instituto tecnológico de Hermosillo del campo de mecatrónica.</li> <li>✓ Personal de enfermería</li> <li>✓ Personal médico de interinato y residentes de 1er y 2do año del servicio de ortopedia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dispositivos de medición eléctrica (Multímetro, osciloscopio, fuente de poder, generador de funciones).</li> <li>✓ Perforador eléctrico estéril.</li> <li>✓ Electrodos (clavillos kirschner 0.062 pulgadas, catéter venoso periférico G14-16).</li> <li>✓ Equipo de asepsia</li> <li>✓ Jeringas de 5cc con aguja.</li> <li>✓ Lidocaína al 2%.</li> <li>✓ Imán (2 con centro de neodimio ).</li> <li>✓ Alambre de teléfono, diodo led, resistencia de 1000 ohms</li> <li>✓ Batería de 9 voltios</li> <li>✓ Caimanes pasa corriente medianos de 20 cm de longitud.</li> <li>✓ Hueso de tibia fresco de cadáver.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El apoyo del equipo de medición e imanes fueron cubiertos por el instituto tecnológico de Hermosillo, material biológico (hueso de tibia) el material de curación, perforador así como el equipo de asepsia lo absorbió el hospital general del estado.</li> <li>✓ Los clavillos kirschner fueron donados por proveedor del seguro popular del hospital general.</li> </ul>

## **7.7 Aspectos éticos de la investigación**

Este estudio se llevó a cabo conforme a lo establecido en la ley general de salud Capítulo V 350bis 2, 350 bis 3, 350 bis 4 los cuales indica lo siguiente:

Artículo 350 bis 2. Para la práctica de necropsias en cadáveres de seres humanos se requiere 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 dar aviso 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 depositarias de ellos durante diez días, con objeto de dar oportunidad al cónyuge, concubinario, concubina o familiares para reclamarlos. En este lapso los cadáveres permanecerán en las instituciones y únicamente recibirán el tratamiento para su conservación y el manejo sanitario que señalen las disposiciones respectivas.

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

Esta investigación cuenta con la aprobación del comité de ética en investigación del Hospital General del Estado de Sonora; además de la aprobación del Comité de Investigación y la División de Enseñanza e Investigación de dicho nosocomio.

## 8 RESULTADOS

### Fase I

#### Hueso de cadáver sin fractura.

Se aplicó carga eléctrica de 9 voltios de corriente directa en circuito cerrado, conectando pines para los electrodos en región metafodiasfisiaria proximal y distal, obteniendo los siguientes resultados:

Medición de extremo a extremo metafodiasfisiario: 9 voltios

Medición de extremo a extremo metafodiasfisiario con inversión de electrodos: - 9 voltios.

Medición por distancia en la cortical del hueso; región metafodiasfisiaria proximal o pin proximal 6.2 Voltios, a los 4 cm 4.5 Voltios, a los 9 cm 2.7 voltios a los 12 cm 1.3 voltios, a los 16 cm 0.9 voltios, a los 20 cm 0.54 voltios. Figura 2.

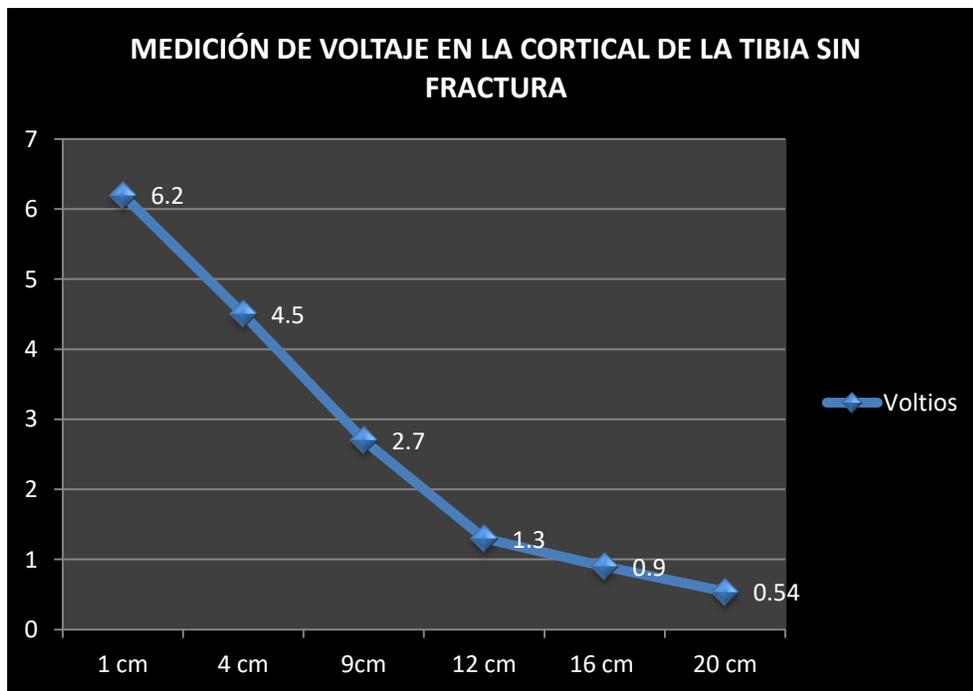


Figura 2. Medición de voltaje en la cortical de la tibia sin fractura.

### **Hueso de cadáver con trazo de fractura.**

Medición de extremo a extremo metafodafisiario con separación de 1mm: 0 voltios.

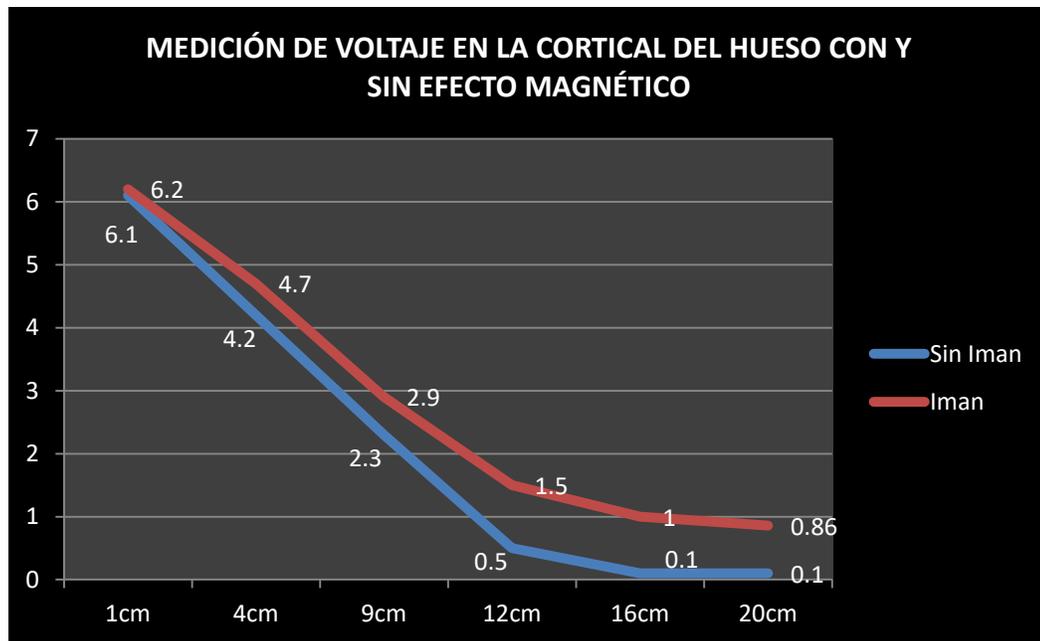
Medición centromedular de extremo a extremo metafodafisiario manteniendo los bordes de la fractura en contacto: 0.86 voltios.

Medición por distancia en cortical del hueso; metafodafisiaria proximal o pin proximal a 1cm: 6.1 Voltios, a los 4 cm 4.2 Voltios, a los 9 cm 2.3 voltios, después del trazo de fractura a los 12 cm 0.5 voltios, a los 16 cm 0.1 voltios, a los 20 cm 0.1 voltios.

Medición de extremo a extremo metafodafisiario con trazo de fractura bajo el efecto magnético con separación de 1 mm: 0 voltios.

Medición centromedular de extremo a extremo metafodafisiario bajo el efecto magnético: 1.03 voltios.

Medición en la cortical del hueso de cadáver bajo el efecto magnético con trazo de fractura; metafodafisiaria proximal o pin proximal a 1cm: 6.2 Voltios, a los 4 cm 4.7 Voltios, a los 9 cm 2.9, voltios después del trazo de fractura a los 12 cm 1.5 voltios, a los 16 cm 1.0 voltios, a los 20 cm 0.86 voltios. Figura 3.



**Figura 3. Medición de voltaje en la cortical del hueso con trazo de fractura, con y sin efecto magnético.**

## **Fase II**

### **Medición en el paciente**

Se aplicó electrodos para medición de corriente eléctrica sin aplicarle una externa, se aisló el electrodo a los 3 cm distales de la punta, colocamos dos electrodos, cada uno a 10 cm del trazo de fractura, se introdujeron hasta la marca seleccionada para su colocación centromedular, se obtuvieron los siguientes resultados:

### **Medición en tibia sana**

Colocando electrodo positivo proximal 216 a 390 miliamperios, 42 milivoltios, colocando electrodo negativo en polo proximal -328 a -372 miliamperios,-55 milivoltios, creando un rango total 216-390 miliamperios y de 42 a 55 milivoltios.

### Medición en tibia sana bajo el efecto magnético

Colocando electrodo positivo en polo proximal 400 a 900 miliamperios, 72 milivoltios, colocando electrodo negativo en polo proximal -600 a -930 miliamperios, -75 a -95, creando un rango total de 400 a 930 miliamperios y 72 a 95 milivoltios. Figura 4.

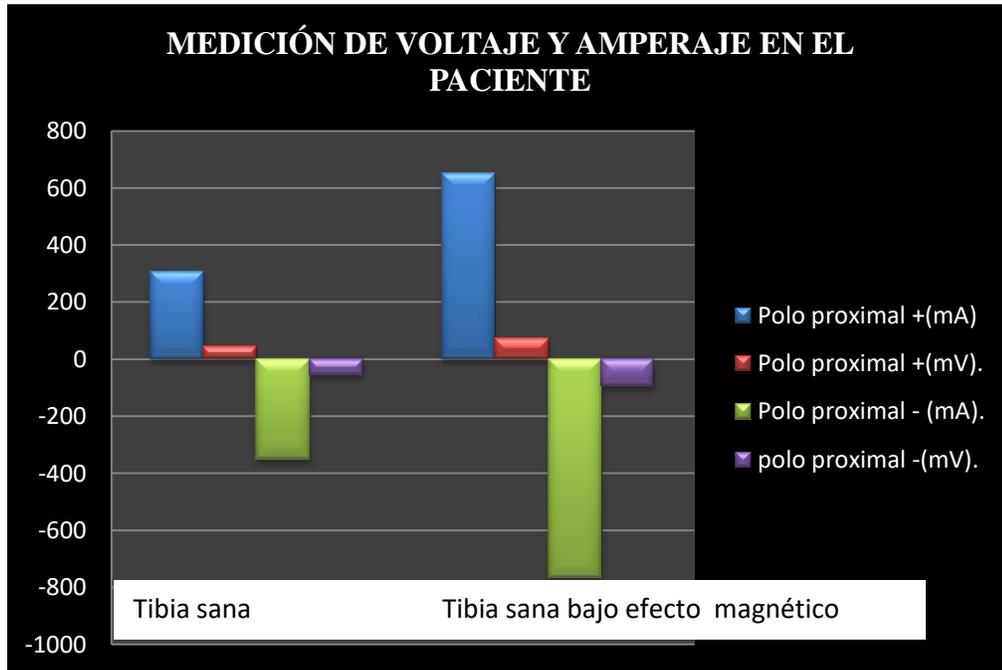


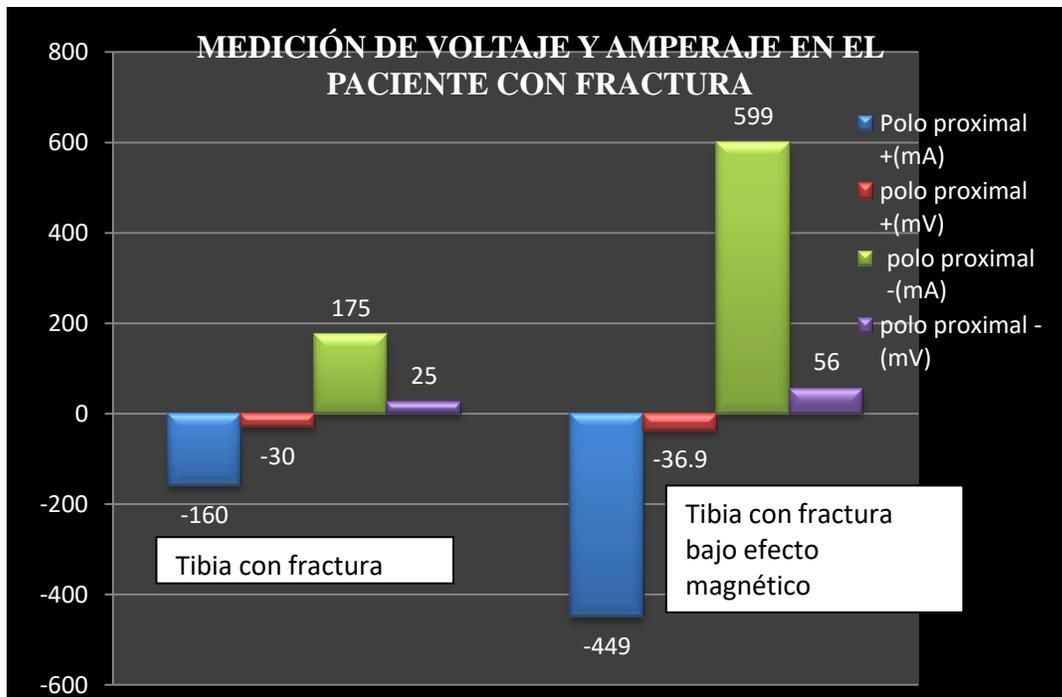
Figura 4. Medición de voltaje y amperaje en el paciente con tibia sana con y sin el efecto magnético.

### Medición de tibia con trazo de fractura

Colocando electrodo positivo en polo proximal -120 a -200 miliamperios, -30 milivoltios, electrodo negativo en polo proximal 130 a 220 miliamperios, 25 milivoltios, creando un rango total de -120 a -220 miliamperios y de -25 a -30 milivoltios.

### Medición de la tibia con trazo de fractura bajo efecto magnético

Colocando electrodo positivo en polo proximal 0.85 a -900 miliamperios, 0.2 milivoltios a -74 milivoltios, colocando electrodo negativo en polo proximal -0.35 a 600 miliamperios, 56 milivoltios, creando un rango de 0.35 a -900 miliamperios y de 0.2 a -74 milivoltios. Figura 5.



**Figura 5. Medición de voltaje y amperaje en el paciente con trazo de fractura sin el efecto magnético y con el efecto magnético.**

## 9 DISCUSIÓN

Se realizaron varios estudios en humanos y animales, investigando la diferencia de potencial eléctrico, encontrando que había una marcada depresión electronegativa en regiones subepifisiarias y en el foco de fractura, siendo positivo en toda la diáfisis restante (Friedenberg, 1966). Se encontro en la literatura citada por Bucholz, et al., 2012 donde se encuentra electronegatividad en el foco de fractura, este efecto de cambio de polaridad permanece durante la consolidación ósea, la cual va decreciendo y cambiara de polaridad al consolidar completamente. En nuestro experimento también encontramos este cambio de polaridad en la tibia con trazo de fractura de nuestro paciente. Friederiberg,et. al., 1966. También señalaron una medición en piel de la tibia en su diáfisis un rango que va desde +27.8 milivoltios a -20.1 milivoltios, Barker, et al., 1988. Realizaron un estudio en 17 personas, en el cual midió las diferencias de potencial eléctrico en el cuerpo humano, encontrando un rango de 10 a 60 milivoltios en varios sitios del cuerpo, en nuestro estudio, la medición se realizó a nivel centromedular en la tibia sana y fracturada encontrando con un rango de 42 y -30 milivoltios respectivamente, lo cual también indica una relación en las diferencias de potencial de la piel y hueso. En otro estudio realizado por Zigman, et al., 2013. Los cuales realizaron mediciones de la diferencia de potencial eléctrico intraoperatorio en osteosíntesis de cadera con una placa de tornillo dinámico (DHS), encontrando una polaridad negativa, con lo cual guarda relación con los artículos previos, también señalan un rango de carga de voltaje de -99 a -293 milivoltios, lo cual ellos mismos mencionan que es un rango alto que no se compara con literatura previa, en nuestro estudio y como ya lo mencionamos es tan solo un tercio aproximadamente del voltaje mencionado.

En el cuerpo humano a nivel celular, el aumento de voltaje se relaciona con la conducta de la membrana celular creándose el potencial de acción. Existen diferentes necesidades de voltaje para cada tipo de célula las cuales oscilan entre + 20 y + 35 mV para su adecuado desempeño (Micó, 2014), en nuestro estudio bajo el efecto magnético se observó un aumento de 50 a 70 mV lo cual garantiza que se lleve a cabo el estímulo en cada célula al presentar una amplitud de voltaje mayor en su potencial de acción.

Actualmente no se encuentra documentado en la literatura estudios similares al realizado, es decir; las alteraciones de la corriente eléctrica cuando esta atraviesa el hueso y se le aplica un campo magnético, por lo cual detallaremos los puntos a resaltar del los resultados del experimento.

Al medir el diferencial de potencial eléctrico de la cortical de la tibia íntegra, desde el punto más proximal hasta el más distal, apreciamos un decremento en el voltaje que va desde 6.1 a 0.54 voltios, de misma forma al realizar la medición en la cortical de la tibia con trazo de fractura y estar en contacto se registro un decremento con un rango de 6.1 a 0.1 milivoltios, este efecto esta dado por las variaciones de humedad del hueso por zonas anatómicas, mientras que en la estructura cortical sus elementos contienen menos humedad, el canal medular se conserva con humedad y elementos necesarios para la optima conductividad eléctrica.

Encontramos una dirección en el flujo eléctrico de la tibia sana y que se encuentra también en la tibia con trazo de fractura, al medir con los polos positivos en los electrodos proximales, conserva una la dirección del impulso nervioso (Micó, 2014).

En este experimento al aplicarle un campo magnético tanto al modelo cadavérico con y sin fractura, con medición también en la cortical, a la tibia sana y a la tibia con trazo de fractura del paciente, como se menciona anteriormente existe un incremento en el voltaje, las estructuras histológicas del hueso guardan relación o tienen gran semejanza a un solenoide al cual se puede aplicar inducción electromagnética logrando convertir la fuerza del campo magnético en electricidad y de esta manera aumenta la diferencia de potencial eléctrico del hueso. Estas aseveraciones requieren de más estudios clínicos para sustentarlos.

## 10 CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio demuestran que es posible la medición de los potenciales eléctricos y su polaridad en el hueso sano y con trazo de fractura simple en la tibia.
- Se demostró que en una tibia con trazo de fractura persiste la electronegatividad.
- Al pasar la corriente eléctrica en un modelo cadavérico, esta tendrá variaciones de voltaje dependiendo la localización en el hueso que se tome para su medición.
- La tibia tiene un diferencial de potencial eléctrico y una dirección, el cual corre de proximal a distal.
- Es reproducible el aumento de la magnitud del voltaje, bajo un campo magnético en la tibia sana y en una tibia con trazo de fractura.

## **11 RECOMENDACIONES**

Se sugiere ampliar la investigación del comportamiento del potencial eléctrico en las fracturas bajo un estímulo externo como lo es el uso del campo magnético, ya que en la actualidad se encuentra con más aceptación por parte del ámbito médico.

En la aplicación de un campo magnético al proceso de consolidación ósea, se sugiere el uso de esta excelente arma en pacientes que tengan factores desfavorables que indiquen un mal pronóstico de la fractura.

Se debe difundir el conocimiento acerca de los dispositivos de emisión de campos electromagnéticos para el control o tratamiento definitivo de patología ósea, así como el diseño de un dispositivo sencillo de operar, de bajo costo, y que sea aplicable a la gran mayoría de los pacientes en el servicio de ortopedia o terapia física y rehabilitación.

## LITERATURA CITADA

- Barker, AT, Human skin battery potentials and their possible role in wound healing. British journal of dermatology, 1983.
- Bassett, A. Generation of Electric Potentials by Bone in Response to Mechanical Stress. Science. 1962.
- Bucholz, R. Fracturas en el Adulto Rockwood & Green's. Octubre 23, quinta edición. 2012.
- Cameron Hugh U. Electromagnetic therapy: fact or fiction. new zealand journal of physiotherapy 2012.
- Castaño López, M. La patología a través del laboratorio de análisis clínicos. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, primera edición 2014.
- Chang, W. bone defect healing enhanced by pulsed electromagnetic field stimulation: in vitro bone organ culture model. Journal of medicine and biological engineering, 25(1): 27-32. 2004.
- Cosino C. Pogliacomì F. Treatment of wrist and hand fractures with natural magnets: preliminary report. Orthopedics, Traumatology and Functional Rehabilitation Unit Department of Surgical Sciences, University of Parma 2007.
- Friedenberg, Z. Bioelectric potential in bone. J Bone Joint Surg Am 1966; 48(5):915-23.

- Duarte V. Modelado piezoeléctrico del hueso por el método de los elementos de contorno. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 28, N° 4, pp. 131-142, 2013.
- Griffin, M. Electrical stimulation in bone healing: critical analysis by evaluating level of evidence, journal of plastic surgery 2011.
- Gujjalapudi, M. Effect of Magnetic Field on Bone Healing around Endosseous Implants – An In-vivo Study. Journal of Clinical and Diagnostic Research. 2016 Oct, Vol-10(10): ZF01-ZF04.
- Hoppenfeld, S. Murthy, V. Fracturas tratamiento y rehabilitación. Marban. Edición española. 2004.
- Kranj,S. Electrochemotherapy by pulsed electromagnetic field treatment(PEMF) in mouse melanoma b16f10 in vivo. Radiology and oncology. 2016.
- Lagey, CL. Electrical stimulation of bone growth whit direct current, clinical orthopaedics and related research 1986 Mar;(204):303-12.
- Liang C. Development of a Portable Low Frequency Electromagnetic Field Stimulator for Promoting Bone Tissue Proliferation. Institute of Electrical Engineering, Southern Taiwan University, Tainan, Taiwan. 2009.
- López Vázquez I. Temas de física 2010, primera edición
- Marino, AA.. Et al. Sensitivity to change in electrical environment a new bioelectric effect. Am JPhysiol 1980; 239:424-7.

- Martinez-Rondanelli, A. Estimulación electromagnética como coadyuvante en el tratamiento de fracturas diafisarias de fémur: Ensayo clínico aleatorio. Colombia Médica - Vol. 45 N°2 2014.
- Micó, GA. Física médica y biológica, Biofísica para la ciencia de la salud, segunda edición, editorial EPACIM 2014.
- Peña, V. Electroestimulación interósea en un modelo de elongación con fijación externa. Cirugía y Cirujanos. 2016.
- Pérez Rivera Mauro R, Sarmiento de la Guardia M. Estimulación magnética en fracturas de Colles. Medicina familiar de Semergen Elsevier. 2011.
- Quiroz, F. Anatomía Humana. 43a edición, 2015.
- Reina, N. Laffosse J.M. Biomecánica del hueso: aplicación al tratamiento y a la consolidación de las fracturas. Volumen 47, Número 3. Páginas 1-17. 2014.
- Santos, L. Harnessing magnetic-mechano actuation in regenerative medicine and tissue engineering. Trends in Biotechnology August 2015, Vol. 33, No. 8
- Serway, A. Raymond, Vuille Chris. Fundamentos de física 2012, novena edición.
- Shi, H. Early application of pulsed electromagnetic field in the treatment of postoperative delayed union of long bone fractures: a prospective randomized controlled study. BMC musculoskeletal disorders 2013.
- Sulsarek, Barbara. Kazimierz, Kakrzewski. Magnetic properties of permanent magnets of magnetic sensors working in wide range of temperature. Tele and Radio Research Institute, Lodz University of Technology 2012.

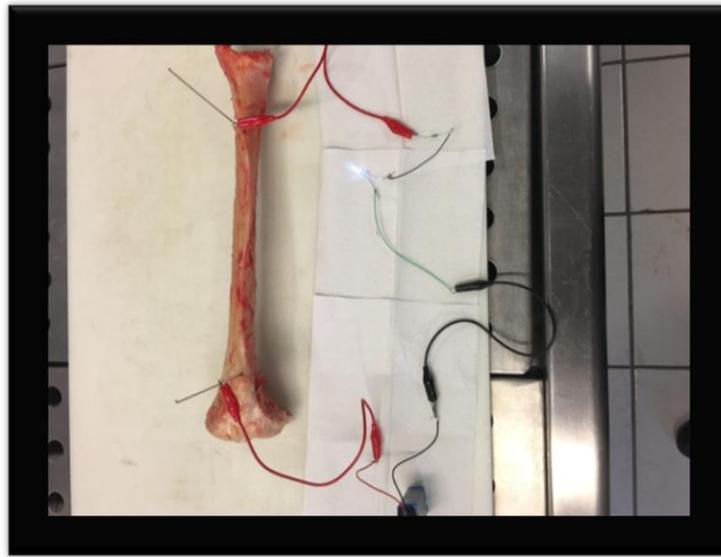
Winn, H. Richard, MD. Youmans and Winn Neurological Surgery, Septima edicion.  
Elsvier. 2017.

Zayas Guillot, J. la magnetoterapia y su aplicación en la medicina. revista cubana  
medica genética integral 2002.

Zigman ,T. Intraoperative measurement of bone electrical potential: a piece in the  
puzzle of understanding fracture healing. Elsevier. 2013.

Diario Oficial de la Federación con fecha 20 de febrero de 1985. Incluye las  
concesiones en el texto publicadas en la fe de erratas con fecha 9 de julio de  
1985. Reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario de  
la disposición de órganos, tejidos y cadáveres de seres humanos.

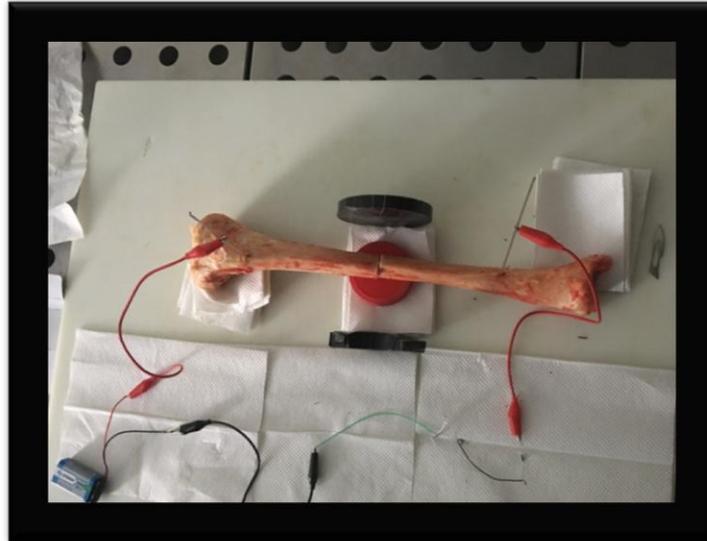
## 12 ANEXOS



**Figura 6. Espécimen de cadáver de tibia derecha obtenida del Hospital General del Estado**



**Figura 7. Modelo cadavérico de tibia derecha obtenida del Hospital General del Estado**



**Figura 8. Modelo cadavérico obtenido del Hospital General del Estado bajo influencia magnética**



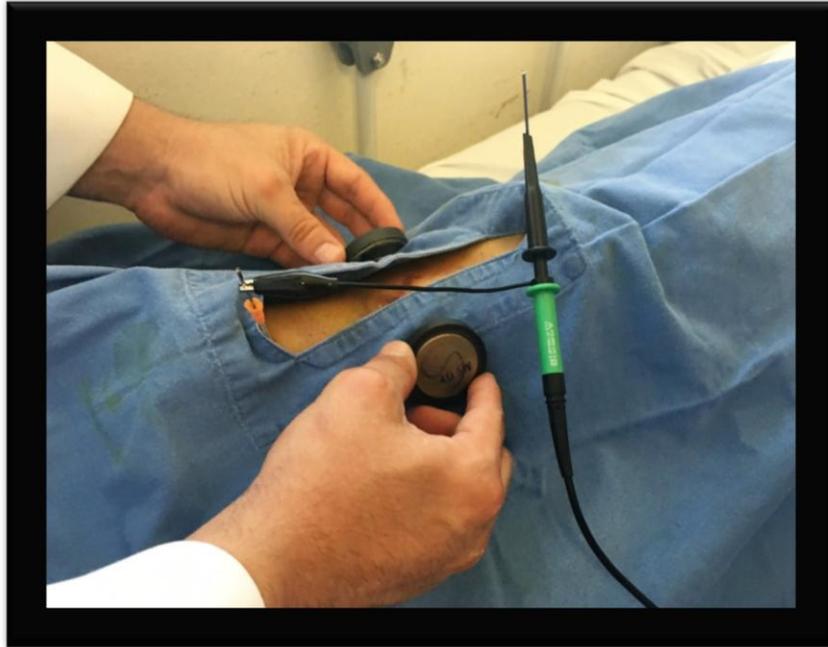
**Figura 9. Generador de funciones ELENCO GF8056.**



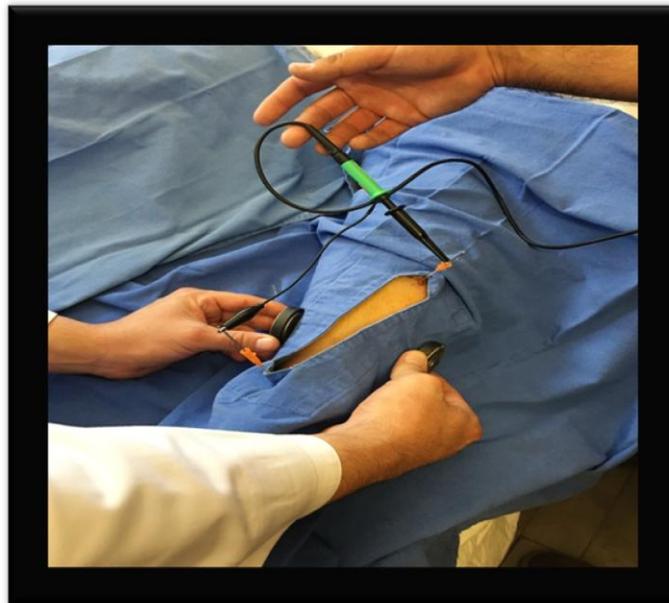
**Figura 10. Osciloscopio GW INSTEK GDS-1152-A-U.**



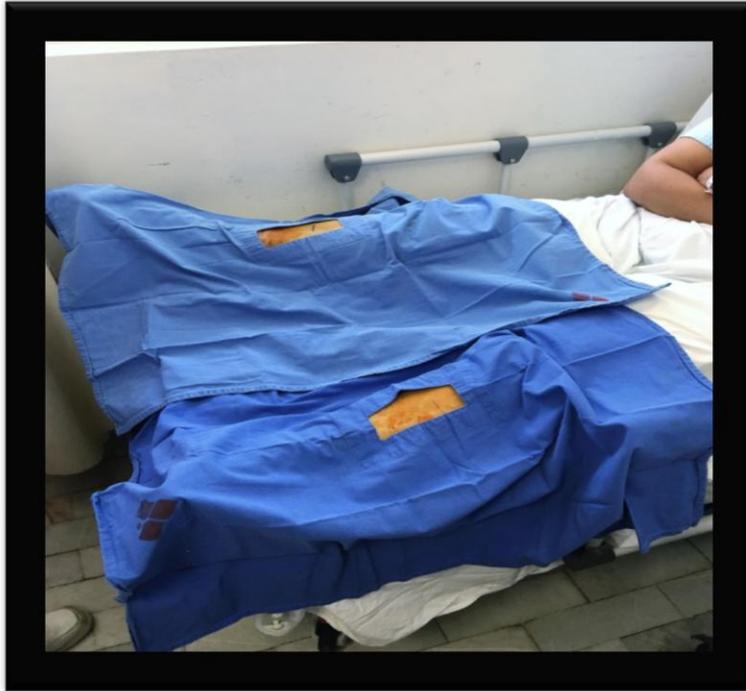
**Figura 11. Equipo de trabajo.**



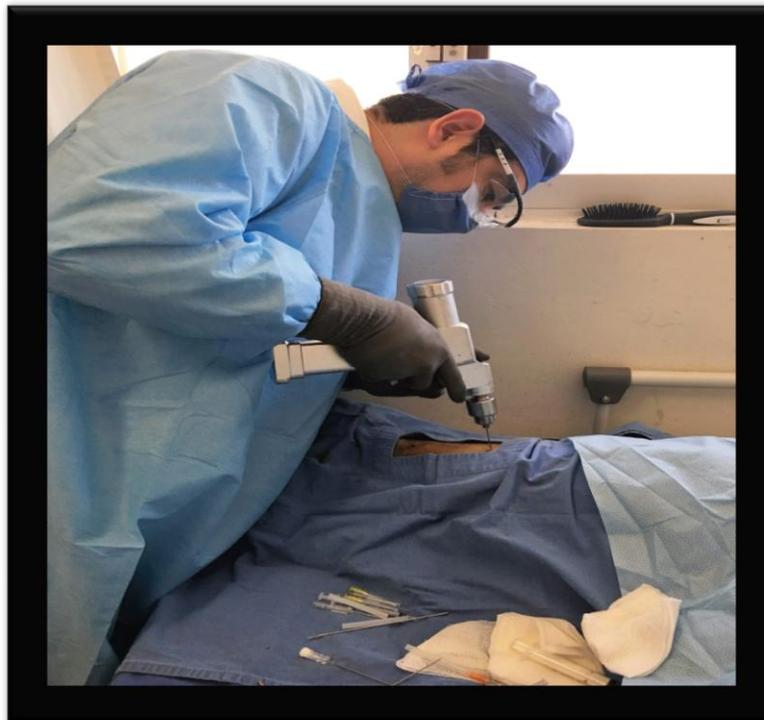
**Figura 12. Aplicación de campo magnético en tibia con trazo de fractura y medición.**



**Figura 13. Aplicación de campo magnético en tibia con trazo de fractura y medición.**



**Figura 14. Preparación del paciente.**



**Figura 15. Aplicación de electrodos proximal y distal a tibia.**



Hermosillo, Sonora. 12 de Julio de 2017  
'2017: Centenario de la Constitución Pacto Social Supremo de los Mexicanos'

**COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN  
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO  
PRESENTE.**

Mediante a la presente le hago de su conocimiento en referencia a la APROBACIÓN de solicitud de trabajo de tesis titulado "Medición de corriente eléctrica y polaridad en fracturas cerradas de tibia bajo el efecto magnético" y "Modificación de la lordosis lumbar por dispositivo interespinoso (DIAM) en modelo cadavérico", solicitud realizada por los médicos Residentes de cuarto año de Ortopedia los CC. DR. Juan Pablo Flores Pinzón y Hugo Santacruz Muro, mediante la cual se les requiere se obtenga un documento de aprobación por parte del Ministerio Público para poder hacer uso del modelo cadavérico al respecto le informo lo siguiente:

Que conforme a los establecido en la Ley General de Salud Capítulo V Artículo 350 bis 2 350 bis 3 y 350 bis 4 que a la letra dicen :

**Artículo 350 bis 2.-** Para la práctica de necropsias en cadáveres de seres humanos se requiere 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 adicionado DOF 26-05-2000*

**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 dar aviso a la autoridad sanitaria competente, en los términos de esta Ley y demás disposiciones aplicables.*

*Artículo adicionado DOF 26-05-2000. Reformado DOF 14-07-2008*

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

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

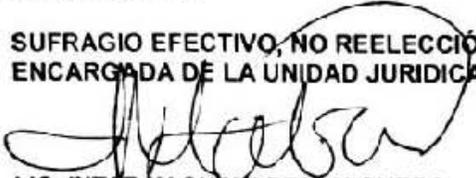
Por lo que esta Unidad Jurídica no encuentra inconveniente alguno en llevar a cabo dicho procedimiento siempre y cuando se cumplan con todos y cada uno de los requisitos establecidos en el presente Ley.

Comité  
Sonorense  
12 JUL 2017  
Comité de Ética.  
Rach Izaburth

Sin otro particular por el momento, me despido de Usted enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE

SUFRAGIO EFECTIVO, NO REELECCIÓN  
ENCARGADA DE LA UNIDAD JURIDICA



LIC. IXTABAY CHAVARRIA HIGUERA

C.C.P. Archivo.

ICHH/



HOSPITAL GENERAL  
DEL ESTADO  
HERMOSILLO, SONORA



*Recib 12/02/14*  




Hospital General  
del Estado  
Dr. Ernesto Ramos Enríquez

**Unidos logramos más**

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

**Comité de Ética en Investigación  
Hospital General del Estado de Sonora  
"Dr. Ernesto Ramos Bours"**

Hermosillo, Sonora a 21 de Julio de 2017

**Presidente:  
Dr. Fernando Herrera  
Fernández**

**Dr. Juan Pablo Flores Pinzón  
Residente de Ortopedia  
Presente.**

**Secretario:  
Dr. Joaquín Sánchez  
González**

**Primer vocal:  
Dr. Moisés Acuña  
Kaldman**

**Segundo Vocal:  
Enf. Catalina García  
Valenzuela**

**Tercer Vocal:  
Dra. Rosa Elena Sosa  
Camas**

**Cuarto Vocal:  
Dr. Jorge Isaac  
Cardoza Amador**

**Quinto Vocal:  
Dr. Mauricio Beltrán  
Rascón**

**Miembro de la  
Comunidad:  
Ing. Beatriz Catalina  
Peraíta Beltrán**

Por este medio le informo que en la Sesión de este Comité del día 20 de Julio del 2017, se analizó su protocolo, considerando que es un Estudio de Investigación sin riesgo para ningún paciente, con fines académicos y de pertinencia científica, el Comité decide la **APROBACION** de su solicitud de Trabajo de Tesis titulado "Medición de corriente eléctrica y polaridad en fracturas cerradas de Tibia bajo efecto magnético". Habiendo presentado el documento de aprobación por parte del Departamento Jurídico de este Hospital para hacer uso del modelo cadavérico requerido de acuerdo a la Legislación vigente.

Este Comité conservara copia de dicho documento así como solicita avances semestrales y la finalización del Estudio.

Atentamente

  
Dr. Fernando Herrera Fernández  
Presidente del Comité de Ética en Investigación

**Sede: Hospital General del Estado de Sonora  
Bivd. Luis Encinas SN (662)259 2500 y (662)217 9155  
Hermosillo, Sonora, México  
[bioeticasonora@hotmail.com](mailto:bioeticasonora@hotmail.com)**



Hospital General  
del Estado  
Dr. Ernesto Ramos Bours

COMITÉ DE  
INVESTIGACIÓN

Hospital General del Estado  
"Dr. Ernesto Ramos Bours"  
Comité de Investigación

SSS-HGE-DEI-CI-2017.28

Hermosillo, Sonora a 28 de julio de 2017

Asunto: Dictamen de Protocolo

**Juan Pablo Flores Pinzón**  
Médico Residente de Traumatología y Ortopedia.-

Por medio de la presente en relación a su protocolo de investigación con registro 2017.28, titulado: **MEDICIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA Y POLARIDAD EN FRACTURAS CERRADAS DE TIBIA BAJO EL EFECTO MAGNÉTICO**. Se le comunica el siguiente Dictamen: Aprobado.

Sin otro particular por el momento quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración, reciba saludos cordiales.

Atentamente



**Dr. Juan Pablo Contreras Félix**  
Presidente del Comité de Investigación  
Jefe de la División de Enseñanza e Investigación

C. c. p. Archivo del Comité de Investigación

**HGE-CI**

Bld. Luis Encinas Johnson 9007 Colonia San Benito  
Tel. (662) 259 2534 C.P. 83190, Hermosillo, Sonora  
[investigacion.hge@gmail.com](mailto:investigacion.hge@gmail.com)