

# Diseño de prototipo de rodillera “Jackie”

PENICHE LOMELÍ LUIS ALFONSO, TORRES MARROQUÍN CLAUDIA VIANNEY, VILLEGAS TÉLLEZ ALAN

**Resumen**— Según datos del Instituto Mexicano del Seguro Social, en México se registraron 150,000 lesiones en ligamentos en el área de la rodilla en el año 2017, de las cuales el porcentaje mayor corresponde a deportistas. Estas lesiones son la causa más común de dolor e inestabilidad articular y la clave de una recuperación exitosa radica en parte en la rehabilitación. [1] Por ello se presenta una propuesta de diseño en software de una rodillera, la cual ayuda al paciente a realizar los ejercicios de rehabilitación de forma adecuada y con mayor facilidad, con esto se busca ayudar al paciente a realizar una actividad específica según sea el caso haciendo eficiente la rehabilitación. La implementación de este sistema se establece para uso post operatorio permitiendo al paciente realizar ejercicios de extensión y fuerza, además de brindar una opción desinflamatoria en el mismo dispositivo.

## I. INTRODUCCIÓN

Se considera a la rodilla como la articulación central de los miembros inferiores, nos permite tener la movilidad necesaria para desplazarnos, haciéndola una parte vulnerable a sufrir lesiones. Estas lesiones resultan comúnmente presentadas en personas jóvenes dado su desempeño en el deporte, sin embargo, la Figura 1 muestra los índices de afectaciones en otras edades. El porcentaje más alto de lesiones en la rodilla se presenta en adolescentes, motivo por el cual es fundamental detectar la lesión y recurrir a un tratamiento de recuperación según la causa. Las lesiones que más se presentan, son en tejidos blandos, ligamentos y tendones debido a esto muchas de esas lesiones pueden ser tratadas con ejercicios de rehabilitación, otros casos más extremos llegan a requerir cirugía. [2] Una de las lesiones más comunes en la rodilla es ligamento cruzado anterior, una lesión muy común en atletas presentándose entre 95,000 casos de ruptura al año y entre 60,000 y 75,000 casos de reconstrucciones al año en Estados Unidos [3].

En este documento se presenta el diseño asistido por computadora de una rodillera con la cual se podrán realizar los ejercicios de rehabilitación del paciente, con esto se logrará una eficiencia en la recuperación. Este sistema fue pensado para aquellos pacientes que estén saliendo de una operación o bien que presenten alguna lesión en las articulaciones inferiores, esta rodillera permite realizar los ejercicios de rehabilitación vía remota. El fisioterapeuta podrá programar las rutinas y ejercicios necesarios, así como, hacer uso de elementos des inflamatorios para la zona afectada.

PENICHE, L., TORRES, C., VILLEGAS, A., pertenece a la carrera INGENIERÍA MECATRÓNICA de la FACULTAD DE INGENIERÍA y realizaron el proyecto dentro del curso Fundamentos de Robots Manipuladores.

El proyecto fue asesorado y se agradece a la DRA. ZIZILIA ZAMUDIO BELTRÁN y la DRA. JACQUELINE GABRIELA MARTÍNEZ HINOJOSA.

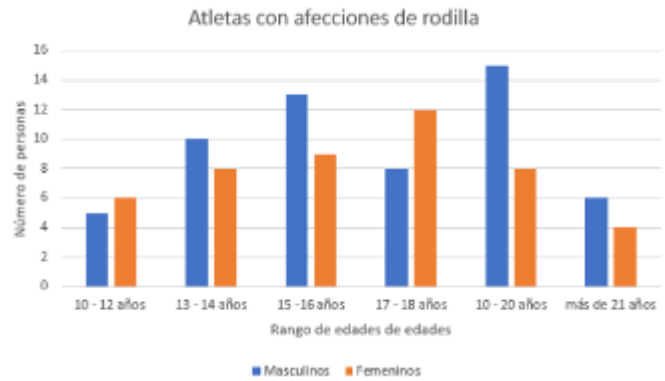


Figura 1. Personas con afecciones de rodilla. [4]

Una de las problemáticas que presentan los fisioterapeutas, es la escasez de equipos para la rehabilitación pertinente e incluso la ausencia de un dispositivo capaz de realizar estas terapias. Este diseño propuesto proveerá de los ejercicios necesarios para la mejora del paciente.

En el mercado existen productos extranjeros con enfoques similares a esta propuesta, los cuales combinan la compresión neumática y la crioterapia. Dichos productos son insuficientes para una correcta rehabilitación dado la carencia de funciones y su robustez.



Figura 2. Aparato para crioterapia.

El aparato que se muestra en la Figura 2, es capaz de enfriar y desinflamar la zona afectada, a costos muy elevados.

## II. ANATOMÍA, LESIONES Y REHABILITACIÓN DE LA RODILLA

La rodilla es una articulación que permite los movimientos de extensión y flexión. Dada la anatomía compleja de la articulación al cargar el peso del cuerpo y el realizar actividades comunes como el saltar, correr o impactarse con algún objeto puede causar lesiones. La rodilla es la unión más grande del cuerpo compuesta por huesos, cartílagos, tendones y ligamentos, en la Figura 3 se puede apreciar un diagrama descriptivo de la anatomía de la rodilla.

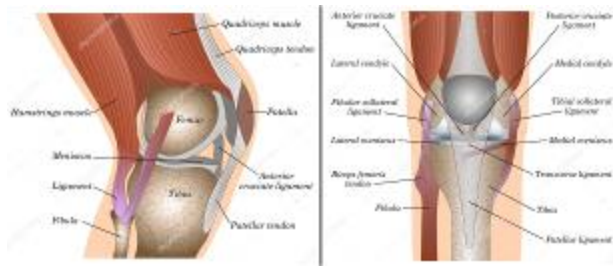


Figura 3. Vistas anatómicas de la rodilla.

Las lesiones de rodilla pueden afectar a los cartílagos, ligamentos, tendones o las bolsas sinoviales. Algunas de las lesiones más frecuentes son provocadas por giros o saltos violentos, cuclillas profundas entre otros movimientos agresivos comunes en el deporte de altas competencias y presentes en la vida cotidiana, como lo muestra la Figura 4<sup>[6]</sup>.

El porcentaje más alto de lesiones se presenta en los ligamentos, siendo la lesión más común la rotura de ligamento cruzado anterior (LCA). Por su ubicación en la rodilla tiende a desgarrarse en personas que practican deportes como básquetbol, fútbol o por movimientos de cambio repentino de dirección. En segundo lugar, se encuentran las lesiones de menisco, seguido por las lesiones de inflamación. En cuarto lugar, se encuentran lesiones por degeneración del tendón. Finalmente se encuentra la sinovitis y por último lugar en la tabla se muestran las fracturas con únicamente 2% de incidencia<sup>[7]</sup>.

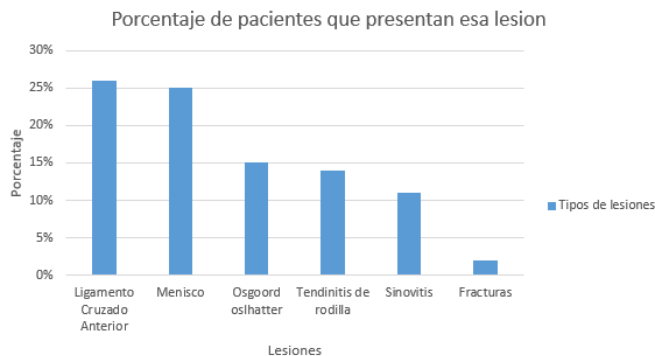


Figura 4. Lesiones mayormente presentadas en la rodilla.

Una característica de estas lesiones es el dolor intenso que puede presentarse, provocando la pérdida de movimiento en la extremidad afectada, el diagnóstico es clínico y deben hacerse estudios para tratarse<sup>[8]</sup>. Este prototipo va dirigido a pacientes cuyas intervenciones hayan sido por:

- Fractura de Rodilla
- Rotura de Ligamento Cruzado Anterior

Las rutinas con mayor prescripción a pacientes consisten en ejercicios para mejorar la extensión, es muy importante recuperar la extensión completa para volver a caminar sin complicaciones. Así mismo se requieren ejercicios de fortalecimiento para los cuales se utiliza una almohadilla en la parte posterior de la rodilla haciendo fuerza con ella para lograr la compresión de la almohadilla<sup>[9]</sup>.

Las rutinas que se recomiendan para la recuperación del movimiento absoluto de la rodilla y que serán integrados a la rodillera son:

**Trabajo estático del cuádriceps en extensión completa de la rodilla:**

Se acondiciona un cojinete en el talón y se mantiene la rodilla extendida y el muslo apretado como se muestra en la Figura 3, se mantiene el ejercicio de 5 a 10 segundos, realizar 4 veces.

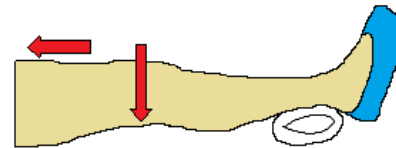


Figura 5. Ejercicio 1 de Flexión

Como el ejercicio anterior, el cojinete ahora se coloca por debajo de la rodilla como se muestra en la Figura 5, por lo que se permite la contracción del cuádriceps presionando con la rodilla y haciendo una flexión con el dorso del pie.



Figura 6. Ejercicio 2 de Flexión

**Flexión de rodilla sin apoyo:**

Un ejercicio muy común en la rehabilitación de rodilla, en el que el paciente se encuentra sentado y debe levantar la pierna 90 grados de su posición actual y regresar como se muestra en la Figura 7, realizar 3 sesiones cada una con 10 repeticiones.

Un paciente promedio debe tomar terapia de dos a tres veces por semana, sin embargo, a causa del costo y el entorno personal tiende a suspenderse. El incluir la automatización en aparatos de rehabilitación, permite la terapia vía remota y con movimientos precisos y seguros, además de ampliar el campo de efectividad por lo que da regularidad al tratamiento y permite un seguimiento más objetivo. Con esto el médico puede diseñar un tratamiento personalizado para cada paciente.

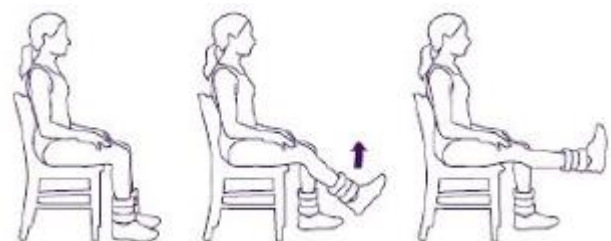


Figura 7. Ejercicio completo de flexión sin apoyo.

Uno de los desafíos de incluir aparatos robóticos en el tratamiento ortopédico es el costo de estos, para esta propuesta uno de los objetivos es crear un sistema de bajo

costo y fácil de usar, para ello como trabajo futuro es necesario realizar un estudio de materiales para optimizar el costo-beneficio del desarrollo del prototipo, lo que permitiría el acceso a personas de bajos recursos al tratamiento automatizado.

Una de las tecnologías implementadas en el diseño es la goniometría articular, la cual consiste en medir el arco de un segmento corporal con relación a otro separado por la articulación estudiada o con relación a un elemento de referencia, permite cuantificar la distancia angular que existe entre las dos posiciones segmentarias extremas <sup>[10]</sup>. Aplicando este concepto al área de aplicación de esta propuesta, la posición de referencia para la articulación de la rodilla, por la posición alineada de los ejes longitudinales del fémur y de la pierna, la medida de la rotación se efectúa en diferentes posiciones de flexión <sup>[11]</sup>.

El goniómetro, es un aparato compuesto por dos extremidades, una de ellas con un indicador y la otra es una escala transportadora unida por un vértice. En él se cuantifica la amplitud articular máxima, lo que determina las posiciones angulares máximas de los segmentos involucrados <sup>[12]</sup>. Los goniómetros representan gran versatilidad, permiten medir tanto ángulos rectos como agudos, en este ámbito este dispositivo se usa para conocer los valores que se ajustan a un correcto desarrollo de la capacidad motriz, por lo que proporciona el valor exacto para el movimiento de una articulación <sup>[13]</sup>.

### III. DISEÑO DE LA RODILLERA JACKIE

El diseño del prototipo rodillera Jackie se basó principalmente en las rodilleras de la marca Mueller Sports Medicine, de Innovación Ortopédica, de Donjoy® y también de los datos obtenidos en las entrevistas realizadas a la Dra. Jacqueline Martínez Hinojosa. La información obtenida fue base para generar el diseño de prototipo rodillera JACKIE final.

Los principales objetivos del diseño de prototipo de rodillera Jackie son:

- Una rehabilitación más eficiente del paciente, después de una operación o una lesión de ligamento cruzado anterior.
- Evitar Fibrosis e Inmovilidad
- Ser cómoda y Ajustable
- Evitar irritación en la piel

A continuación, se presenta el histórico que llevo al diseño final de prototipo rodillera JACKIE.

La primera propuesta de diseño de rodillera, “R1”, es una protección que cubre la zona de la rodilla para que no sufra ningún tipo de impacto, un ejemplo como tal son las rodilleras que utilizan los ciclistas.

Ésta incluye 2 barras articuladas metálicas, para mantener fija la pierna y además de que se puede ajustar a la medida de la pierna del paciente, utilizando cintas velcro.

*Funcionamiento:*

- Flexión y extensión de la rodilla

*Ventajas:*

- Movimientos sencillos para realizar la rehabilitación
- Ajustable

*Desventajas:*

- La protección cubre completamente la rodilla
- Sin goniómetro

Tomando en cuenta las desventajas que presenta éste primer boceto, Figura 8, y la retroalimentación de la Doctora, se realizó otro boceto denominado “R2”.



Figura 8. Prototipo “R1”

Para la segunda propuesta, se hicieron varios cambios al diseño de la rodillera “R1”. Uno de estos fue tomar en cuenta como se mencionó al inicio de esta sección, las rodilleras para hacer ejercicio y rehabilitación.

El boceto de prototipo de rodillera “R2”, Figura 9, presenta un espacio específicamente para la rótula, con la intención de evitar que exista movimiento libre en ella, y así cuidarla de generar lesiones en la zona afectada posterior a su operación.

Parte fundamental del siguiente boceto fue la inclusión del goniómetro, ya que es un indicador de cómo va evolucionando el paciente durante la rehabilitación. Incluye al igual que el boceto anterior unas bandas ajustables.

*Funcionamiento:*

- Flexión y extensión de la rodilla

*Ventajas:*

- Protección
- Soporte postoperatorio
- Ajustable



Figura 9. Prototipo “R2”

*Desventajas:*

- Únicamente cubre la rodilla

Con lo expuesto anteriormente y con base a más estudios e investigaciones acerca de las rodilleras y aparatos que se utilizan para la rehabilitación, se diseñó en software el prototipo rodillera JACKIE final.

Es totalmente diferente a otras rodilleras mecánicas o biomecánicas, ya que contará con un sistema desinflamatorio y además se le puede adaptar un actuador que sea controlado vía remota.

A continuación, se explica detalladamente la idea innovadora que contiene el siguiente diseño.

#### *Sistema desinflamatorio*

El mecanismo utilizado es una válvula en la que el paciente será capaz de utilizar para inflar a cierta presión su rodillera indicada por el doctor, en este caso sólo es para que la zona afectada se desinflame, como se observa en la Figura 10.

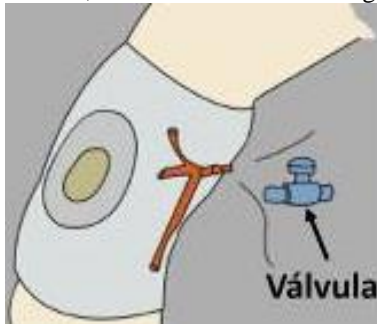


Figura 10. Rodillera con mecanismo de inflado.

Las mangueras que distribuirán el aire estarán por dentro de la rodillera, así no habrá objetos que obstruyan el funcionamiento de la rodillera.

Con el mismo sistema para desinflamar la zona afectada, se puede utilizar para realizar los ejercicios de rehabilitación como el trabajo estático del cuádriceps en extensión completa de la rodilla.

En Figura 11 se observa la adaptación del goniómetro en donde el doctor tendrá la capacidad de asignarle al paciente el valor adecuado para su recuperación, además, cuenta con soportes a la altura del muslo y también en la pantorrilla.

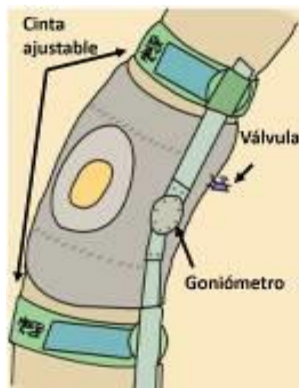


Figura 11. Rodillera con goniómetro integrado.

#### *Terapia vía remota*

Se considera el uso de un servomotor para su acoplamiento a dicha rodillera y en conjunto con el goniómetro, hacer el movimiento adecuado para realizar los ejercicios de rehabilitación, como los que se mencionan en la sección II del presente escrito.

Además, incluirá un microcontrolador para que el especialista pueda cargar las rutinas en el aparato, por lo tanto,

el paciente podrá realizar los ejercicios desde su casa sin el temor de recaer en la lesión.

#### IV. RESULTADOS

Obteniendo la retroalimentación de los especialistas y cubriendo los objetivos propuestos, se optó por rediseñar la propuesta denominada "R2", para así diseñar el prototipo de Rodillera "JACKIE" final.

Por medio del software "Solidworks" con el cual se cuenta en la Facultad de Ingeniería de La Salle, se implementaron las propuestas observadas en las Figuras 10 y 11 para su simulación.

En la Figura 12 se observan las dos vistas laterales a color y en blanco y negro de la Rodillera, en la Figura 13 se muestran las respectivas vistas Frontales, la Figura 14 tiene las vistas isométricas.

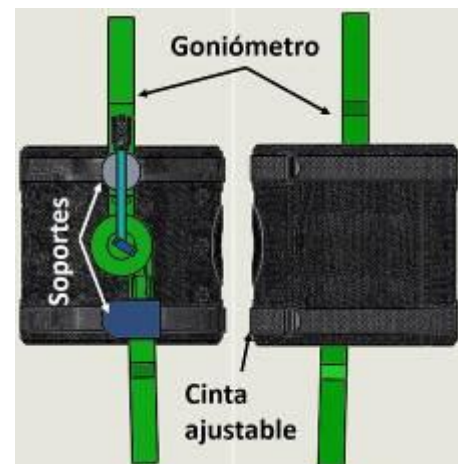


Figura 12. Vistas laterales de la Rodillera

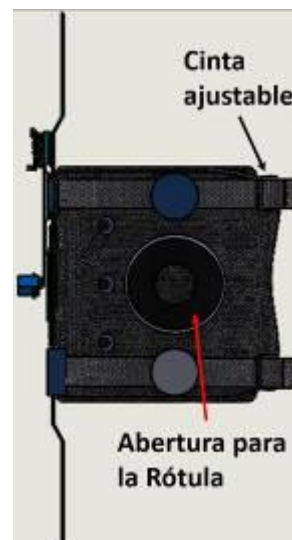


Figura 13. Vista Frontal

Al goniómetro se le agregó un soporte, para que funcione como adaptador para colocar el microcontrolador y también el servomotor, que su principal función será la flexión y extensión de la pierna del paciente, se presenta en la siguiente Figura 15.



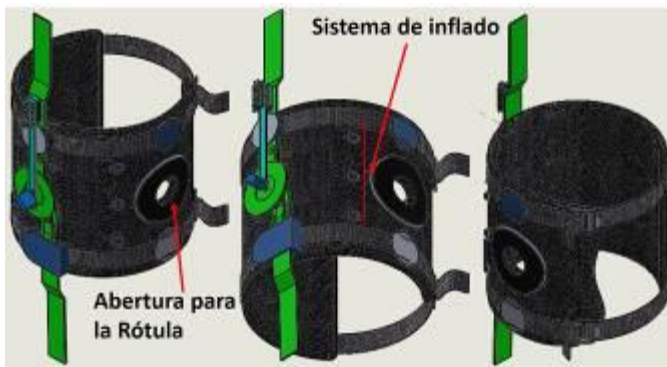


Figura 14. Vistas Isométricas.

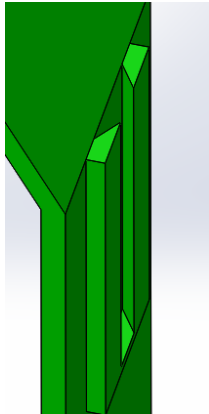


Figura 15. Adaptador Goniómetro

La Figura 16, es la pieza montable al goniómetro, la cual lleva el microcontrolador y el servomotor.

En la Figura 17, se observa las válvulas que están en la rodillera, en la Figura 18 se muestra la forma en la que se le puede adaptar el microcontrolador a la rodillera y como se mencionó en la sección de Desarrollo-Rehabilitación Vía Remota, se coloca un actuador para hacer la rehabilitación.

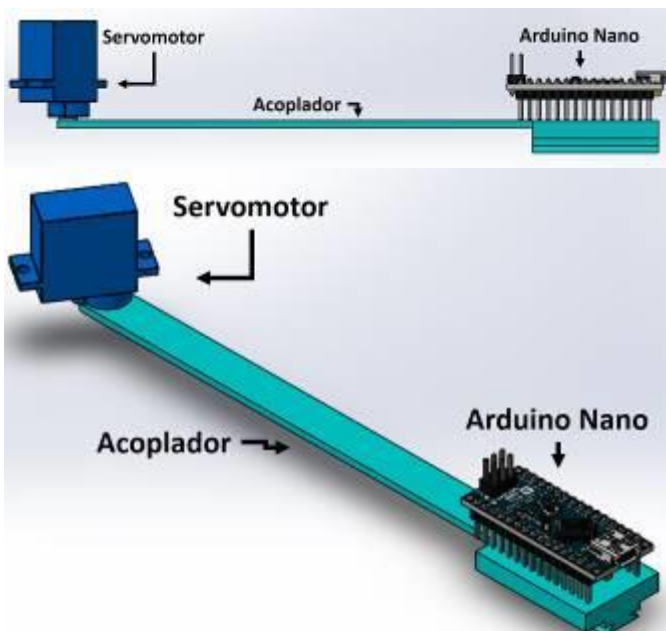


Figura 16. Adaptador Goniómetro

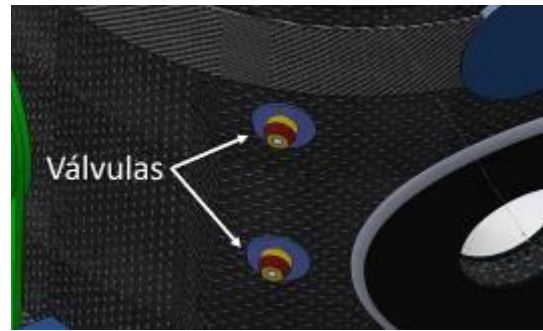


Figura 17. Válvulas

## V. CONCLUSIONES

Se presenta el diseño de un prototipo para una rodillera como instrumento de apoyo para pacientes con lesiones en la articulación. El mecanismo en el que está basada nuestra investigación propone mejorar la movilidad en la articulación afectada reduciendo el impacto que se puede generar en la rodilla.

La siguiente etapa del proyecto consiste en la implementación física de la propuesta de diseño presentadas en el cual se buscarán los materiales adecuados que brinden confort, calidad y seguridad al paciente, así mismo se realizarán diferentes pruebas de resistencia y fuerza del dispositivo, para determinar las adecuaciones necesarias que cumplan el objetivo propuesto.

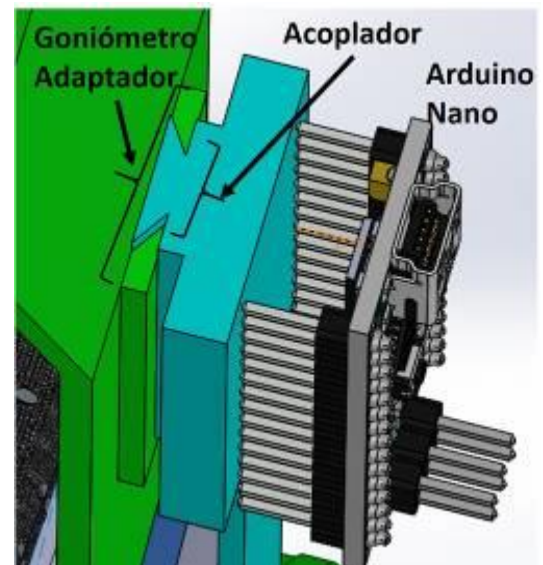


Figura 18. Integración de Servomotor con Goniómetro

## REFERENCIAS

- [1] Aldaco Víctor, Flores Sergio, Hernández Jorge, (2017). Diagnóstico y Tratamiento de las LESIONES LIGAMENTARIAS TRAUMATICAS EN RODILLA. Noviembre 2018, de IMSS Sitio web: <http://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/388GER.pdf>
- [2] National Ambulatory Medical Care Survey, (2010). Common knee injuries. Noviembre 2018, de Centers for Disease Control and Prevention.
- [3] Anónimo. (2014). Patient Story: Multiple Knee Injuries and Knee Instability . Noviembre 2018, de American Academy of Orthopaedic Surgeons Sitio web: <https://orthoinfo.aaos.org/en/diseases--conditions/patient-story-multiple-knee-injuries-and-knee-instability/> .

- [4] Águila Tejada Gabriel. (Abril 2013). Atención segura a lesiones de rodilla en atletas. *Finlay*, 3, 52 - 53.
- [5] National Ambulatory Medical Care Survey, (2010). Common knee injuries. Noviembre 2018, de Centers for Disease Control and Prevention
- [6] Águila-Tejada G, Delgado-Figueroa R, Bermúdez-Suárez A, Suárez-Collado P, Rosell-Silva M.. (2013). Atención segura a lesiones de rodilla en atletas. En *Revista Finlay*(6 páginas). Cuba: Revista Finlay.
- [7] Personal de Mayo Clinic. (2017). Dolor de rodilla. Noviembre 2018, de Mayo Clinic Sitio web: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/knee-pain/symptoms-causes/syc-20350849>
- [8] Aldaco-García VD, Chávez-Covarrubias G, Escobar-Rodríguez D, Estrada-Malacón C, Pérez-Hernández C, Monroy-Centeno J, Mendoza-de-la-Cruz JR, Valenzuela-Flores AA. (2017). Diagnóstico y Tratamiento de las LESIONES LIGAMENTARIAS TRAUMÁTICAS EN RODILLA. En *Catálogo Maestro de Guías de Práctica Clínica: IMSS-388-10*(8,21, 23-25). México: IMSS.
- [9] Urbano Gerardo. (2016). Tabla de ejercicios de rehabilitación para una lesión de rodilla. Noviembre 2018, de Deusto Salud Sitio web: <https://www.deustosalud.com/blog/rehabilitacion/tabla-ejercicios-rehabilitacion-para-lesion-rodilla>
- [10] León Castro, Gálvez Domínguez, Arcas Patricio, Elósegui Bilbao, Alés Reina, Caballero Oliver. (2006). *Cinesología: ejes y planos del cuerpo. En Fisioterapeutas del Servicio Gallego de salud* (159). España: MAD.
- [11] Neiger, Leroy, Dufour, Péninou, Pierron. (2005). *Kinesioterapia*. Francia: Panamerica.
- [12] AAOS. (2009). Ejercicios después de artroscópica (Knee Arthroscopy Exercises). Noviembre 2018, de American Academy of Orthopaedic Surgeons Sitio web: <https://orthoinfo.aaos.org/es/recovery/ejercicios-despues-de-artroscopica-knee-arthroscopy-exercises/>
- [13] Arturo Miramon. (Desconocido). Los goniómetros médicos. Noviembre 2018, de Goniometro.net Sitio web: <https://www.goniometro.net/medico/Information Science>, 344, pp. 1 – 11, 2006.
- [14] Gil Chang Victor. (Desconocido). *Fundamentos de medicina de rehabilitación*. Costa Rica: Editoria IUCR.
- [15] AAOS. (2009). Ejercicios después de artroscópica (Knee Arthroscopy Exercises). Noviembre 2018, de American Academy of Orthopaedic Surgeons Sitio web: <https://orthoinfo.aaos.org/es/recovery/ejercicios-despues-de-artroscopica-knee-arthroscopy-exercises/>
- [16] Healthychildren.org. (2016). Cómo tratar lesiones por deportes con hielo y calor. Noviembre 2018, de American Academy of Pediatrics Sitio web: <https://www.healthychildren.org/spanish/health-issues/injuries-emergencies/sports-injuries/paginas/treating-sports-injuries-with-ice-and-heat.aspx>
- [17] Siempre en play. (Desconocido). RICE (REPOSO, HIELO, COMPRESIÓN Y ELEVACIÓN) PARA TRATAR LAS LESIONES DE TEJIDOS BLANDOS. Noviembre 2018, de Bioiberica. Sitio web: <https://siempreenplay.com/rice-reposo-hielo-compresion-y-elevacion-para-tratar-las-lesiones-de-tejidos-blandos/>