

**TRABAJO DE GRADO**

**SISTEMA DE REHABILITACIÓN PARA MÚSCULO AFECTADO POR LESIÓN  
DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR (LCA)**

**MANUELA CADAVID MENDOZA**

**JUAN FERNANDO AGUIRRE VALENCIA**

**DOCENTES**

**ERIKA SOLANGE IMBETT VARGAS**

**SERGIO GOMEZ ARROYAVE**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**FACULTAD DE ARTES Y HUMANIDADES**

**INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL**

**MEDELLÍN**

**2019**

***A nuestras madres***

*Gracias por dejarnos volar libres y darnos la tranquilidad de su apoyo incondicional. Gracias por ser nuestra inspiración y mayor fuente de crecimiento. Gracias por creer en nosotros, más que nosotros mismos. Gracias por duplicar nuestras ganas.*

***A nuestros padres***

*Quienes con su apoyo moral, económico y ejemplo de vida han inculcado en nosotros, la responsabilidad, esfuerzo y dedicación de seguir adelante en la vida.*

***A nuestros hermanos***

*Por ser parte fundamental en nuestra vida, y llenarla de mucha felicidad.*

## 1. Tabla de contenido

1.	RESUMEN.....	4
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
3.	OBJETIVOS .....	11
4.	HIPOTESIS .....	12
5.	JUSTIFICACIÓN .....	13
6.	MARCO TEÓRICO:.....	17
7.	MARCO METODOLÓGICO .....	37
8.	QUÉ, CÓMO, CUÁNDO, DÓNDE .....	39
9.	RESULTADOS.....	40
10.	CONCLUSIONES .....	71
11.	TRABAJOS FUTUROS.....	72
12.	ANEXOS .....	73
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	85

## **1. RESUMEN**

Se ha podido evidenciar que dentro de las personas que han sido sometidas a una cirugía de reconstrucción de ligamento cruzado anterior, solo un bajo porcentaje de estas han recuperado la funcionalidad total en la extremidad afectada, después de terminar su proceso postquirúrgico. Siendo este el principal problema para retomar con normalidad algunas actividades básicas en el día a día como lo es la marcha en el desplazamiento, sentarse o ponerse de pie, entre otras.

Desarrollar un sistema integral de rehabilitación, donde el principal objetivo es atacar de manera directa la pérdida de masa muscular que se genera por el tratamiento médico invasivo, es una parte crucial para que las personas que sufren una lesión de ruptura de ligamento cruzado anterior, para que puedan realizar sus actividades diarias de manera inconsciente y natural.

La importancia de realizar la rehabilitación con el peso corporal de cada uno de los pacientes genera confianza para ir desligando el miedo y el temor a sufrir una recaída en ese tipo de lesión, es por eso que los ejercicios planteados en el presente trabajo no requieren una máquina de gimnasio que aporte un peso específico, ya que los usuarios pueden ejercitarse en cualquier lugar sin necesidad de un peso adicional al del mismo cuerpo del paciente.

### **1.1 PALABRAS CLAVES**

- Diseño Industrial
  
- Ligamento Cruzado Anterior
  
- Artefacto de rehabilitación

## **1.2 ABSTRACT**

It has been possible to demonstrate that only a low percentage of people, who have been in an anterior cruciate ligament reconstruction surgery, have recovered the total functionality in the affected limb after finishing their post-surgical process. This being the main problem to return to their daily activities such as walking, sitting or stand up, among others.

To develop rehabilitation system, where the main goal is to work directly on the loss of muscle mass after an invasive medical treatment, is of great importance for People that have suffered from a ruptured of anterior cruciate ligament injury, so they can perform in an unconscious and natural way their daily activities.

The importance of doing rehabilitation with the patient's body weight, generates the confidence to separate them from mental fear and the fear of suffering a relapse in this kind of injury, that is why the exercises proposed in this work do not require any weight machine from a gym. Because the patient can exercise nay place the want just using

## **1.3 KEY WORDS**

**-Industrial Design**

**-Anterior Cruciate Ligament**

**-Artifact of rehabilitation**

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ligamento cruzado anterior es una estructura importante para la cinemática normal de la rodilla. Cabe recordar que este ligamento es un limitador para el desplazamiento impidiendo que la tibia se mueva hacia adelante o atrás con respecto a la posición del fémur. Las lesiones de ligamento cruzado anterior (LCA) tienen una alta prevalencia hoy en día en los habitantes de la población en general que practican deporte recreativo, estas se dan cuando la articulación debido a un movimiento anormal se dobla o se rota de manera antinatural a la que por su forma anatómica está diseñada. Las personas que practican deportes de alto contacto y que exigen un alto esfuerzo de la rodilla reflejan con mayor relevancia dichas lesiones, ya que es más probable para estas personas sufrir una caída, un choque o hacer un mal movimiento que implique la ruptura o el estiramiento excesivo del ligamento cruzado anterior en la rodilla.

“La rotura del LCA representa el 50% de las lesiones ligamentosas de la rodilla” (Ramos, 2008, p. 62). y en su gran mayoría; como se dijo anteriormente, se presentan en actividades deportivas. Luego de sufrida la lesión y dependiendo de la gravedad, se toma la decisión de realizar o no el tratamiento quirúrgico requerido. “El éxito en el tratamiento y la vuelta a la actividad deportiva en las mejores condiciones posibles puede depender en gran medida del proceso de rehabilitación” (Ramos, 2008, p.62).

Es importante que durante el postoperatorio del LCA se haga fisioterapia, para así generar un fortalecimiento gradual del músculo afectado y una movilidad

completa. Esto es vital ya que según Ramos (2008) en las horas siguientes a que se sufre la lesión, alrededor del 70% de los afectados desarrollará una hemartrosis <sup>1</sup> severa, por lo que, durante la exploración física, es frecuente encontrar una pérdida de los contornos normales de la articulación y una inflamación importante (p. 64).

Cuando se tiene el alta médica, los pacientes se dan cuenta que tienen problemas de pérdida de masa muscular en toda la extremidad que sufrió la lesión, dichas circunstancias limitan el día a día en actividades básicas como el subir y bajar escaleras, dificultad para sentarse, levantarse, dolor e inflamación, la cojera sobre la marcha es incómoda para los pacientes, muy pocos vuelven a hacer actividad física debido a que sienten que la pierna no les va soportar el peso de su propio cuerpo.

En la valoración de la recuperación funcional de los pacientes con reconstrucción de ligamento cruzado anterior, después de la rehabilitación, tradicionalmente se ha empleado herramientas alejadas de la realidad deportiva como escalas de evaluación subjetiva o test clínicos con antropómetros, dinamómetros isocinéticos o goniómetros, utilizados en situaciones estáticas (Andriacchi & Birac, 1993, p. 8).

---

<sup>1</sup> Hemartrosis: es una hemorragia en una articulación que por lo general ocurre después de sufrir una lesión. Los vasos sanguíneos del interior de la articulación se dañan y sangran. La sangre se acumula en la articulación. Esta condición es más común en las articulaciones de los hombros y rodillas. También puede producirse en los codos, los tobillos y las caderas.

“La evaluación funcional de la rodilla después de una reconstrucción de ligamento cruzado no puede realizarse exclusivamente mediante test clínicos”  
(Andriacchi & Birac, 1993, p. 12).

Según la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) (2001), la discapacidad es un término genérico que abarca déficits, limitaciones en la actividad y restricciones a la participación. Indica los aspectos negativos de la interacción entre un individuo (con una “condición de salud”) y sus factores contextuales (factores ambientales y personales) (p. 206). La limitación de la actividad es la dificultad que puede tener una persona en el desarrollo o realización de actividades. El concepto de discapacidad y el de limitaciones en las actividades, tienen que ver con las consecuencias que la deficiencia produce en la persona y en su capacidad para realizar actividades: dificultad para desplazarse, comunicarse, autocuidarse, comprender, ver, etc (CIF, 2001, p. 206)

En este caso, la situación planteada se basa en la limitación de la actividad, más específicamente en la dificultad para desplazarse, ya que los pacientes con reconstrucción de ligamento cruzado anterior presentan insuficiencias funcionales en la rodilla operada después de haber terminado su tiempo postquirúrgico para poder desplazarse con normalidad, debido a la atrofia muscular a la cual se ven sometidos por los largos periodos de tiempo donde la extremidad estuvo en reposo; para volver a ganar la masa muscular perdida conlleva mucho más tiempo y dedicación con algunos ejercicios para activar la estimulación en los músculos comprometidos que ayudan a que el paciente puede desplazarse, sentarse y pararse con total normalidad.



El intento de generar técnicas de reparación satisfactorias hacía los pacientes, comprende periodos de tiempo muy prolongados como mínimo de 1 año, en el mejor de los casos, para poder retomar los hábitos con normalidad.

La persona que sufre dicha lesión, queda descompensada de masa muscular en la pierna en la que fue operada comparándola con la otra, ya que durante este año o más, no puede realizar muchas actividades y el músculo va perdiendo su fuerza normal, en el caso de la movilidad, es difícil adoptar ciertas posturas, pasar de un lugar a otro, levantarse de una silla y adoptar o abandonar posiciones determinadas, como arrodillarse o sentarse en cuchillas (CIF, 2001, p. 146.)

Todas estas actividades comunes del día a día se vuelven todo un reto para las personas con que sufrieron la reconstrucción del ligamento cruzado anterior, el poder desplazarse con facilidad en cualquier entorno es un componente esencial para la vida del ser humano, el movimiento es necesario para mantener independencia, esencial para el funcionamiento adecuado de los huesos y músculos y hace parte de todo un conjunto de cosas que dan como resultado una mejor calidad de vida.

Por tal motivo se logra evidenciar que si se ataca la pérdida de masa muscular por medio de ejercicios que generen estímulos adecuados en los músculos de la extremidad afectada, se podrá mejorar la calidad de vida del paciente, dándole independencia en su desplazamiento. No podemos hablar de un tiempo específico para el proceso de post-rehabilitación, ya que estos son inciertos; dependen única y exclusivamente de cada paciente, de sus condiciones fisiológicas y de su tipo de lesión.

Con este producto buscamos evitar que los ejercicios se deban realizar únicamente bajo la supervisión de un profesional o en un sitio donde se cuente con máquinas de gimnasio, queremos que el paciente pueda hacer su post-rehabilitación mientras se encuentre en su casa, trabajo o cualquier sitio donde pueda estar sentado.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL:**

Diseñar un sistema de rehabilitación que permita el fortalecimiento de los músculos cuádriceps e isquiotibiales y que mitigue la dificultad para desplazarse en personas que hayan sido sometidas a reconstrucción de ligamento cruzado anterior.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

Mejorar la marcha en personas con movilidad reducida producto del proceso de reconstrucción de LCA mediante el diseño de un sistema de rehabilitación.

Mejorar las condiciones musculares en pacientes que hayan sido sometidos a la reconstrucción del LCA

Comprobar los resultados del sistema de rehabilitación mediante pruebas en una persona que haya sufrido lesión de ligamento cruzado anterior.

#### **4. HIPOTESIS**

Las personas que sufren una lesión de ligamento cruzado anterior no recuperan el 100% de la masa muscular de la pierna afectada, y esto genera dificultades en sus actividades diarias.

## 5. JUSTIFICACIÓN

“Las lesiones del ligamento cruzado anterior de la rodilla son comunes y producen discapacidad en personas jóvenes y deportistas; además, predisponen a lesiones ulteriores de la rodilla y a osteoartritis temprana” (Márquez y Márquez, 2009, p. 256).

La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) representa una de las lesiones de mayor gravedad del deportista, con una incidencia de morbilidad durante el proceso de rehabilitación muy elevada, y hasta el 46% de lesiones musculares en los 6 meses posteriores del inicio de la actividad deportiva. Igualmente, en un porcentaje elevado de los pacientes se ha observado prospectivamente una hipotrofia muscular mantenida, en especial del músculo cuádriceps.

El fortalecimiento muscular es de suma importancia, ya que la deficiencia de fuerza en cuádriceps, además de cualquier otro trastorno existente, ocasiona un desequilibrio de la función del aparato extensor, por lo que la fuerza y potencia de esta estructura muscular deben ser evaluados de acuerdo a la escala de Daniels<sup>14-19</sup> e independientemente de cualquiera que sea el diagnóstico y tratamiento, el trabajo de fortalecimiento y aumento de potencia del cuádriceps se establecerá como medida universal (Negrete, 2007, párr. 26)

Una de las principales preocupaciones de los pacientes es la debilidad intensa y rápida del cuádriceps (Morrisey, 1989, como se citó en Sánchez, S.F, p. 5). Se puede llegar a perder hasta un 17% de fibra muscular a las 72 horas de post-inmovilización (Lindhoe, 1984, como se citó en Sánchez, S.F, p. 5). Lo que agravaba la situación es

Un volumen de derrame articular de 10-30 ml provoca una inhibición del 60% de fibras musculares. Una disminución del perímetro del muslo del 4% equivale a una disminución del 23% de fibras musculares (Morrisey,1989, como se citó en Sánchez, S.F, p. 5).

Existe una correlación directa entre déficit de fuerza muscular de modalidad excéntrica de los extensores e inestabilidad funcional (Yoon et al, 2000, como se citó en Sánchez, S.F, p. 5). Se ha observado un déficit dominante para la fuerza excéntrica respecto a la concéntrica para el mismo grupo agonista. Una atrofia prolongada del cuádriceps favorece la proliferación de adherencias del tejido conectivo (Jòzsa L et al ,1990, como se citó en Sánchez, S.F, p. 5).

En la postcirugía, el déficit del cuádriceps es mayor que los isquiotibiales en una proporción de 2/1. La insuficiencia del cuádriceps tendrá consecuencias negativas como dolor femoro-patelar, déficit de la extensión y mayor inestabilidad funcional. La recuperación de los isquiotibiales suele ser más rápida, de aproximadamente el 80% a los 2 meses.

Las funciones principales del cuádriceps y los isquiotibiales, ambos ubicados en lo que el ser humano llama el muslo, es soportar el peso corporal, generar fuerza, movimiento y lo más importante, mantenerse estable durante sus actividades de la vida cotidiana, siendo esta última la que genera el temor a todas las personas que se encuentra en la etapa postoperatorio o incluso a quienes sus médicos ya les dieron el alta médica.

Es importante para recuperar las fibras musculares realizar 2 tipos de ejercicios; el primer tipo son los ejercicios isométricos que “consiste en la contracción muscular en que la longitud del musculo se mantiene constante mientras se desarrolla tensión y fuerza máxima contra una resistencia inamovible” (Baker, Wilson, & Carlyon, 1994, como se citó en Paredez, Martos y Romero, 2001, p. 6).

Estos ejercicios aportan fuerza de estabilización que con el tiempo mejoraran la situación del paciente, también con estos ejercicios, la masa muscular aumentará paulatinamente. El segundo tipo de ejercicio que consisten en contraer los músculos extensores y flexores de la pierna, “Las contracciones musculares excéntricas son muy útiles para desarrollar fuerza excéntrica muy necesaria para la realización de diversas acciones en el deporte” (Askling, Karlsson, & A., 2003; Coarasa et al., 2003; Croisier, Ganteaume, & Ferret, 2005; Fyfe & Stanish, 1992; González, Lantarón, Gutiérrez, & Pazos, 2003; Lorza, 1998, como se citó en Paredez, Martos y Romero, 2001, p. 6). Vale recordar que estos tipos de ejercicios se realizan solamente con el peso corporal.

Considerando los hallazgos científicos, los esfuerzos por retrasar la atrofia muscular y facilitar la activación voluntaria del cuádriceps constituye la base de los programas de fortalecimiento progresivo precoz (Sneider-Mackler et al, 1991, como se citó en Sánchez, 2001, p. 6). Un fortalecimiento precoz y satisfactorio del cuádriceps ayudará a recuperar la extensión completa de la rodilla, a reestablecer la movilidad normal de la rótula y a corregir la (Sánchez; 2015, p.6).

La raíz del problema en el tratamiento de las lesiones del LCA es que, en general, las rupturas en la sustancia media de este ligamento no curan. No se

entienden claramente los factores biológicos específicos que pueden contribuir al problema. Estudios experimentales en perros han mostrado que una lesión del LCA creada quirúrgicamente lleva a una respuesta vascular significativa por todo el ligamento, que se inicia en los tejidos blandos vecinos (grasa infra patelar y el tejido sinovial). Los estudios también han mostrado que aunque el LCA es capaz de tener una respuesta vascular después de la lesión, no ocurre la reparación espontánea (o sea, la curación por segunda intención). Esto se puede atribuir a que la dilución del hematoma en el líquido sinovial previene la formación del coágulo de fibrina y, por ende, la iniciación del mecanismo de curación. Otra teoría sugiere que la naturaleza dinámica de las fibras del LCA a través del arco de movimiento inhibe la unión espontánea de estas fibras; y que, aun con una inmovilización externa con yeso u ortesis, la contracción del cuádriceps desplaza la tibia hacia delante y puede romper el tejido cicatricial (Márquez y Márquez, 2009, p.259).



## 6. MARCO TEÓRICO:

Los elementos anatómicos que protegen al LCA son principalmente los músculos isquiotibiales y muy especialmente el bíceps femoral que tiene un tiempo de latencia menor respecto a sus homólogos ante el reflejo de estiramiento del LCA. Las formas de las superficies articulares femorotibial proporciona cierta estabilidad al ligamento al igual que los ligamentos colaterales y la cápsula articular (Tous-Fajardo et al 2007, como se citó en Sánchez, 2008, párr. 7). Igualmente, los meniscos y muy especialmente el cuerno posterior del menisco interno limita el cajón anterior y actúa como órgano propioceptivo creando un arco reflejo secundario con los músculos isquiotibiales (Sánchez, 2008, párr. 7.).

Espinoza-Navarro, O. & Valle, S., (2009) aseguran que los músculos cuádriceps y los llamados músculos isquiotibiales son los que presentan mayor predisposición a lesionarse con 31,7 y un 17% de incidencia respectivamente informan que en los músculos "isquiotibiales", conformados por el músculo semitendinoso, semimembranoso y bíceps femoral, el más propenso a lesionarse durante las temporadas de juego, es el bíceps femoral, con un 53% del total de lesiones en este grupo muscular. Es importante destacar que por cada lesión se considera una licencia de reposo aproximadamente de 18 días, generando pérdidas económicas muy altas a los clubes o asociaciones (Espinoza-Navarro et al.; 2009), determinan que los futbolistas tienen 2,6% más posibilidad de lesionarse si previamente ha tenido una lesión. Esta situación es extrema si se analiza el deporte de aficionado donde cerca de

un 50% de los participantes sufre alguna lesión que le impide la práctica regular y continuada (Palmi, 2001, cómo se citó en Navarro, 2014, párr. 8)

Las cargas axiales estimulan el alineamiento adecuado de las células y favorecen la cicatrización (Beynon BD et al 2002). Normalmente a los 6 meses para el injerto con HTH y de 3 meses para el injerto con isquiotibiales, las características del trasplante ya son las adecuadas, parecidas a un LCA y similares a las que muestra en 12 meses (Majima et al 2002). Esto lleva al gran debate actual, si ante una correcta rehabilitación, el deportista podría iniciar la actividad competitiva a los 3 meses postcirugía (Roi GS et al, 2005). Estos autores sugieren que el inicio temprano a la competición deportiva después de la reconstrucción del LCA viene favorecido por una serie de factores como el estado físico óptimo antes de la cirugía, una fuerte motivación psicológica, una lesión aislada del LCA, una buena colocación y fijación del trasplante, un volumen e intensidad de ejercicios progresivos y adaptado de forma individual, y una correcta densidad de rehabilitación consistente en una mezcla de gimnasio, piscina y sobre el terreno (Roi GS et al, 2005; Sánchez, 2015)

La plastia va a seguir un proceso biológico de ligamentación que es determinante para poder diseñar un programa correcto de rehabilitación. Este proceso pasa por tres fases que se pueden solapar entre ellas. La primera fase o de repoblación se caracteriza por una revascularización del injerto. Revascularización que le viene asegurada por las arterias articular media e ínfero-lateral de la grasa infra patelar, ligamento mucoso, vasos endostios de los túneles femoral y tibial y pliegue sinovial posterior (Clancy 1981; Arnoczky 1982; Josa et al 1994). La revascularización parece ser rápida, ya que, a

las tres semanas, se objetiva una revascularización de la superficie de la plastia y los neovasos se hacen Endo ligamentosos por medio de anastomosis. En esta fase, aparece un aumento importante de neovasos, de la celularidad (células inflamatorias y fibroblastos) y del metabolismo. Esta fase de revascularización se acompaña de una bajada de las propiedades mecánicas durante al menos las seis primeras semanas. La segunda fase o fase de remodelación, que para algunos autores abarca un rango cronológico de 2 a 12 meses y se caracteriza porque la neovascularización pierde protagonismo, donde la celularidad aumenta significativamente hasta llegar a un máximo a los cuatro meses. En esta fase, una estimulación mecánica adecuada será la clave para mantener las propiedades mecánicas adecuadas del implante (Beynonn et al 2002). La última fase o fase de maduración, el número de fibroblastos y la vascularización disminuye y la maduración del colágeno es completa.

“Otro aspecto importante a la hora de diseñar un protocolo óptimo de rehabilitación, es el restablecimiento del control neuromuscular de la rodilla. La lesión del LCA no solo priva de un fuerte elemento estabilizador, sino que también provoca una denervación parcial de la rodilla, existiendo una pérdida del sistema nervioso aferente intraligamentoso” (Sánchez, 2015, p. 8). La ausencia del LCA, “determina una disminución notable de la información neurosensorial, propioceptiva y refleja. Aunque también es cierto, que nos podemos beneficiar de los arcos reflejos secundarios para reestablecer este déficit neurosensorial. En ausencia del LCA y durante el primer año de la postcirugía, existe un arco reflejo secundario formado por la cápsula articular y los músculos isquiotibiales” (Solomonov 1987). “Igualmente se ha comprobado que el cuerno posterior del menisco interno actúa como órgano

propioceptivo activando un arco reflejo secundario menisco muscular ante las fuerzas de traslación anterior de la tibia respecto al fémur.” (Sánchez, 2015, p.).

Autores como Gerber JP et al (2007), han demostrado la importancia de introducir un entrenamiento excéntrico progresivo en la rehabilitación del LCA. Este autor demostró que el grupo tratado mediante ejercicios excéntricos aumentó el doble el volumen y el pico máximo de la sección transversal del cuádriceps y glúteo mayor, comparado con el grupo de rehabilitación estándar. El entrenamiento excéntrico indujo resultados superiores a corto plazo en la fuerza, la funcionalidad y el nivel de actividad después de la cirugía. El trabajo excéntrico en Control de Cargas Centrado favorece la estabilidad dinámica de la rodilla (Morrissey MC y cols, 2000). Nuevas investigaciones sugieren que el ejercicio excéntrico de isquiotibiales mejora la adaptación neuromuscular (Mandelbaum BR, et al cómo se citó en Sánchez, 2008, párr. 16).

La kinesiólogía pasiva tiene una acción inmediata sobre los músculos y articulaciones. En los músculos existen receptores sensibles para diferentes niveles de su tensión: los usos neuromusculares y los corpúsculos de Golgi.

Parece que son las variaciones de tensión los agentes que los excitan. Todo estiramiento un poco brusco de un músculo conlleva, por vía refleja, una respuesta que aumenta el tono del músculo. Por el contrario, un estiramiento progresivo no trae consigo esta respuesta, a condición de que ningún componente doloroso de origen muscular, tendinoso o articular, se sobreañada.

Es posible, pues, por la puesta en tensión suave del músculo, no dolorosa, obtener su distensión progresiva.

Al lado del estiramiento pasivo del músculo hay que considerar el acortamiento pasivo, que se consigue aproximando pasivamente los puntos de inserción musculares al máximo, lo que produce un silencio total de las dos clases de receptores musculares. Así se puede relajar un músculo acortándolo.

No se debe inmovilizar un músculo en cualquier posición, a cualquier velocidad y con no con cualquier fuerza, debemos tenerlo relajado.

El movimiento pasivo produce, al actuar sobre los receptores propioceptivos musculares, influjos sensitivos que son registrados en los centros nerviosos y clasificados en la memoria cinestésica. Se consigue así despertar los reflejos propioceptivos y la conciencia del movimiento, facilitándose su ejecución posterior (Valdopin, 2013, p. 16).

Existen diversas metodologías que se pueden aplicar en el entrenamiento propioceptivo de rodilla, los que tiene la finalidad de estimular las terminaciones nerviosas o propioceptivas y lograr una respuesta refleja en la contracción muscular.

El método TRAL, que significa terapia reequilibradora del aparato locomotor, creado el 1999 por Pedro Antolín, lo describe como “un método de recuperación funcional dinámica que se basa en la percepción de la postura corporal a través del movimiento y los cambios de posición del centro de gravedad”, se trabaja en posición bípeda ejecutando movimientos unipodales y bimodales manteniendo la estática del miembro inferior, la duración es de 12 semanas con una duración de 15 minutos, con

una frecuencia de lunes a jueves, obteniendo buenos resultados y mejores en mujeres que hombres (Pérez, 2018, p. 48)

El trabajo de isquiotibiales y cuádriceps en excéntrica a través de sentadillas es clave en la rehabilitación. Según los autores Busquet, (2001); Basas et al., (2003) y Silvers et al., (2007) el papel propioceptivo de los isquiotibiales es primordial para preservar la integridad ligamentosa, puesto que actúan como ligamento activo del cruzado anterior. Por su parte el cuádriceps es de vital importancia para conservar la plenitud en su fisiología y la seguridad de la rodilla (Aparicio, 2014, p. 16).

## 6.1 ANTECEDENTES

Los antecedentes citados a continuación, validan y sustentan la importancia que tiene para los pacientes que sufrieron la reconstrucción de Ligamento Cruzado Anterior, el recuperar en su medida, el máximo de masa muscular en la extremidad afectada mediante algunos ejercicios específicos, donde cada uno de ellos es parte fundamental del plan integral para la consecución del objetivo, que no es más que otro, que el poder retomar sus actividades cotidianas con normalidad, y dejar atrás todas las molestias y perjuicios que le ha podido generar la lesión que ha sufrido. Cada autor según su trabajo investigativo, logro puntualizar una idea para brindar una solución al problema de la pérdida de masa muscular en los pacientes que sufrieron la lesión de LCA.

Los ligamentos cruzados forman parte de la regulación cinemática articular de la rodilla, por lo que es indispensable comprender su complejidad anatómica, fisiológica y biomecánica para efectuar reconstrucciones exitosas cuando se presenta una ruptura. La mayoría de las rupturas del ligamento cruzado anterior (LCA) nativo se producen por lesiones no traumáticas. En Estados Unidos de América la incidencia es de una en 3,000 pacientes; de ellas, 30% son traumáticas y 70% no traumáticas. Estas lesiones se presentan con mayor frecuencia en mujeres (nueve mujeres: un hombre). Los síntomas de las rupturas no traumáticas son chasquido súbito con dolor inmediato, aumento de volumen con sensación de inestabilidad y limitación para las actividades

cotidianas. La mayoría de los mecanismos de lesión traumática se producen mediante una rotación enérgica en apoyo monopodálico (Velazques, 2016, p.1).

En el siglo II de nuestra era el más famoso de los médicos romanos Claudius Galeno<sup>1</sup> de Pergamo fue el primero en describir el ligamento cruzado de la rodilla “*The genus cruciata como una de las estructuras más importantes de la rodilla en su obra La utilidad de las partes del cuerpo*”.

Noulis, de París, en 1875 probablemente fue el primero en describir la maniobra que hoy conocemos con el nombre de Lachman y que es útil para el diagnóstico de la lesión del ligamento cruzado anterior de la rodilla.

Existen 4 características clínicas fundamentales al interrogatorio que sugieren fuertemente la existencia de una lesión del ligamento cruzado anterior según Feagin y Curl:

1. Escuchar o sentir un fuerte chasquido en la rodilla al momento del traumatismo.
2. No ser capaz de seguir participando en la actividad en que estaba.
3. La rodilla se inflama groseramente.
4. La inflamación se hace máxima en las 12 h siguientes al trauma (Arango, 1998, p. 1).

“El LCA tiene una vascularidad que va se empobreciendo de proximal a distal; esto explica por qué la atrofia se produce con gran velocidad al romperse en su inserción femoral; por ello es necesario repararlo lo más rápidamente posible. Esta



reconstrucción puede ser total o parcial utilizando injertos de diferentes tipos.

Históricamente, las reparaciones se hicieron principalmente con autoinjertos, aunque más tarde se intentaron homoinjertos, xenoinjertos e injertos sintéticos; estos últimos demostraron muy pobres resultados a corto plazo, por lo que han dejado de utilizarse” (Velazques, 2016, p.1).

“La primera referencia que tenemos sobre reparación de un ligamento cruzado anterior corresponde a Mayo Robson en 1853; en cuanto a reconstrucciones del ligamento cruzado anterior las primeras referencias corresponden a Hey Groves en 1912, que utilizó fascia lata” (Arango, 1998, p. 1).

Los homoinjertos son los más frecuentemente empleados en la reparación primaria del LCA, sobre todo cuando el individuo presenta problemas para la toma de injertos autólogos (ej.: tendinitis, secuelas de Osgood-Schlatter, etcétera). Aunque los injertos autólogos ofrecen buenos resultados y contamos con diferentes técnicas quirúrgicas, el mayor problema es que se daña una estructura sana al tomarlos (Velázquez, 2016, p.1).

La evaluación clínica de la función mecánica del músculo se ha realizado a través de los años mediante la exploración física de forma subjetiva, cualitativa o semicuantitativa con test que dan un valor numérico a la fuerza muscular generada (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, S.F, p. 1)

“Durante esta fase de recuperación, el médico coordina el trabajo del fisioterapeuta (rehabilitación) con el del preparador físico (readaptación); y

centrándonos en nuestra labor de readaptación, diferenciamos el “ fase 2”, donde realizamos ejercicios isométricos para mantener el tono muscular, y ejercicios propioceptivos en medio acuático, para favorecer la activación articular, mediante la propiocepción, y dicha activación evita la pérdida total de estímulos kinestésicos que la inmovilidad ocasiona. Es fundamental mantener el tono muscular con la práctica selectiva del entrenamiento, para conservar el nivel de técnica anterior y mantener la condición física general, fundamentalmente sobre los sistemas de aporte energético aeróbicos en descarga (Berdejo et al., 2007 como se citó en Paredes, 2011, p. 6). En este nivel también comienza a utilizarse el protocolo de equilibrio pélvico como carga complementaria de entrenamiento” (Paredes, 2011, p. 6).

Comienza el trabajo equilibrio pélvico, como objetivo paralelo y complementario debido a que en esta fase el deportista lesionado dispone de mayor tiempo para este tipo de entrenamiento y lograr a su vez una mejora en la ejecución de este tipo de metodología preventiva (Drobic et al., 2004 como se citó en Paredes, 2011, p. 6).

En el “Nivel 3”, comienza el entrenamiento de fuerza, que tendrá el objetivo de recuperar los niveles de fuerza anteriores a la lesión. Este trabajo irá siempre muy ligado a los grados movilidad articular recuperados, variando proporcionalmente del trabajo isométrico, muy utilizado en la fase II; al concéntrico que irá cogiendo mayor importancia a medida que se vayan recuperando los grados de movilidad (Paredes, 2011, p. 6).

En esta fase, la readaptación refuerza y acompaña el tratamiento médico. Se busca la restauración de las funciones perdidas, principalmente la readaptación fisiológica de la zona afectada a la sistemática del entrenamiento, fundamentalmente en los mecanismos específicos de la especialidad deportiva presentada para este estudio. Realizamos una planificación progresiva de las cargas de trabajo para poder gradualmente integrarse a la dinámica de esfuerzos de entrenamiento. El trabajo de fisioterapia continúa en esta fase (Berdejo et al., 2007 como se citó en Paredez, 2011, p. 6).

Uno de los tratamientos más adecuados para reducir el derrame es mediante la electro crioterapia compresiva con contracción de la musculatura del muslo .Se colocan cuatro electrodos directamente sobre la piel o se sumergen en un baño de agua congelada a nivel de la articulación de la rodilla y se aplican corrientes pulsantes de alto voltaje (CPAV) con pulsos de espigas gemelas de gran amplitud (de hasta 500 v) y de corta duración del pulso (50-200 $\mu$ s) que se aplican con una frecuencia de 1- 120 espigas por segundo. Hay indicios de que la CPAV inhibe la fuga microvascular, minimizando el edema (Taylor et al,1997 como se citó en Sánchez, S.F, p. 4). De forma simultánea, la estimulación motora del cuádriceps favorece la reducción del derrame por el bombeo del músculo, además de minimizar la atrofia muscular en sector optimo funcional (Sanchez, S.F, p. 4).

En esta fase de la rehabilitación ya podemos introducir con seguridad ejercicios de potenciación en cadena cinética cerrada, ya que estos ejercicios son de naturaleza más funcionales y pueden acelerar la reincorporación a la actividad.

La ventaja de estos ejercicios es que implican una jerarquía de acciones excéntricas, isométricas y concéntricas (Sánchez, S.F, p. 6).

En una fase más avanzada de la rehabilitación, entre la 6a y 8o semana, el injerto ya se ha integrado a los túneles mediante una fijación secundaria osteoligamentosa (Cascio et al 2004 como se citó en Sánchez, S.F, p. 6). Los objetivos en esta fase son recuperar la movilidad completa de la rodilla, fortalecer la musculatura con gran incidencia en el trabajo excéntrico, introducir entrenamiento neuromuscular dinámico de forma progresiva, mejorar el patrón de la marcha e inicio de la carrera con dificultad progresiva.

Antes de empezar a correr, la fuerza del cuádriceps de la extremidad lesionada debe haber recuperado al menos el 80% de la fuerza respecto al lado sano, y la cicatrización de la plastia debe ser suficiente aproximadamente 8 semanas para la reconstrucción del LCA. La carrera empieza sobre una cinta sin fin y progresará hasta la carrera en pista. Las sesiones en pista empiezan corriendo en las rectas y andando en las curvas. La intensidad se va aumentando gradualmente hasta que el deportista es capaz de realizar toda la distancia de la pista. Completar un programa de carrera puede llevar entre 2 y 3 meses (Sánchez, S.F, p. 6).

Tal como se puede evidenciar en los autores anteriormente citados, al sufrir una lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) la rodilla se inflama de una manera exponencial en las horas siguientes a la lesión, esto hace que se pueda atrofiar con mayor velocidad si no es tratada rápidamente. Para la reparación de la lesión se utilizan normalmente los autoinjertos, homoinjertos, xenoinjertos, injertos sintéticos e

injertos autólogos, siendo estos últimos injertos que dañan la estructura sana al tomarlos.

Paredes (2011) y Sánchez (S.F) están de acuerdo con la fase de recuperación, donde se debe coordinar la rehabilitación con la readaptación, ya que es importante realizar ejercicios que mantengan la masa muscular del paciente en óptimo estado para que mantenga su condición física general y así pueda realizar las actividades de día a día con mayor facilidad.

A esta afirmación se le une Gerber JP et al (2007) cuando demuestra la importancia del entrenamiento excéntrico progresivo en la rehabilitación del LCA. En su investigación se puede observar que en pacientes tratados con ejercicios excéntricos se aumenta el doble del volumen del músculo donde se sufrió dicha lesión, comparado con pacientes tratados con rehabilitación estándar.

## 6.2 ESTADO DE LA TÉCNICA



Figura 1. Aparato de movimiento pasivo continuo (Aparato de movimiento pasivo continuo, utilizado en procedimientos de pos-operatorio de rodillas, permite la estimulación de cuádriceps y movimientos de dorsiflexión de pies. Adaptado de Argón S.R.L por Argón Importaciones. Tomado de <https://www.argonmed.com/v3/portfolio/cpm-movimiento-pasivo-continuo-mod-4060/>)

### Descripción del producto

- Aparato de movimiento pasivo continuo, utilizado en procedimientos de pos-operatorio de rodillas, permite la estimulación de cuádriceps y movimientos de dorsiflexión de pies;
- Construida en estructura de acero cromado / acero con pintura electrostática.
- Ajuste de longitud para que pueda ser utilizado en pacientes de diferentes estaturas.

- Control manual
- Posee en su memoria 5 programas fijos y a través del Software Program Maker Ortomed, almacena aproximadamente hasta 100 programas de acuerdo con las necesidades de cada atención
- Control con posibilidad de operación: Manual/ Continuo / Programa.
- Manual: Permite seleccionar el sentido (extensión o flexión), la velocidad y para cual ángulo el apoyo se debe mover.
- Continuo: Permite seleccionar la velocidad y los ángulos de extensión y flexión además de iniciar el movimiento de apoyo continuamente en el sentido de extensión, flexión y extensión.
- Programa: Permite seleccionar a través de la tecla los programas grabados en la memoria de la Unidad de CPM, por el software Program maker

#### Regulación:

- Extensión:  $-10^{\circ}$  a  $120^{\circ}$  (pasos de  $5^{\circ}$ )
- Flexión:  $0^{\circ}$  a  $120^{\circ}$  (pasos de  $5^{\circ}$ )
- Tiempo de reposo de extensión: 0 a 15s
- Tiempo de reposo para flexión: 0 a 15s
- Velocidad : 30% a 100% tiempo medio de una flexión/extensión: 140 segundos, en velocidad 100% y 480 segundos en velocidad 30%

#### Parámetros de ajuste de Velocidad:

- Velocidad máxima: 80 s +/- 10% ( $-10^{\circ}$  a  $120^{\circ}$ ): 75 s +/- 10% ( $120^{\circ}$  a  $-10^{\circ}$ );
- Velocidad media: 120 s +/- 10% ( $-10^{\circ}$  a  $120^{\circ}$ ): 120 s +/- 10% ( $120^{\circ}$  a  $-10^{\circ}$ );

- Velocidad mínima: 240 s +/- 10% (-10° a 120 °): 250 s +/- 10% (120° a -10 °);
- Medidas: 120x30x42 cm (CxLxA);
- Peso: 15 Kg
- Tensión de alimentación eléctrica: 110 a 230 V
- Consumo máximo: 55 VA.





Figura 2. Condromalacia rotuliana y electroestimulación. (Ejercicio por ElectroEstimulación Deportiva para el fortalecimiento del cartílago que está debajo de la rótula. Adaptado de Electroestimulación Deportiva por García, 2011. Tomado de <https://www.electroestimulaciondeportiva.com/condromalacia-rotuliana-y-electroestimulacion/>)

La condromalacia rotuliana se produce por la degeneración y el reblandecimiento del cartílago que está debajo de la rótula. Sus síntomas son un dolor en la parte delantera de la rodilla al estar sentado, al subir escaleras, al subir cuestras... al hacer fuerza con el cuádriceps.

Suele afectar a todo tipo de personas, hombres, mujeres, deportistas o no... que por lo general no tienen bien desarrollado el cuádriceps.



Figura 3. Bicicleta estática sin resistencia. (Adaptado de Protocolo de rehabilitación tras la cirugía artroscópica del ligamento cruzado anterior por López-Vidriero, 2017. Tomado de

<http://www.traumatologiadepportiva.com/wp-content/uploads/PROTOCOLO-LCA-DR-LOPEZ-VIDRIERO-web.pdf>)

Ejercicio encaminado a recuperar la movilidad pasiva con bicicleta estática sin resistencia como con el sillín, al principio, lo suficientemente alto como para que no moleste al pedalear. Lo iremos bajando conforme vayamos ganando movilidad. Este ejercicio también nos servirá para controlar el derrame articular



Figura 4. Extensión pasiva completa (Adaptado de Protocolo de rehabilitación tras la cirugía artroscópica del ligamento cruzado anterior por López-Vidriero, 2017. Tomado de <http://www.traumatologiadepportiva.com/wp-content/uploads/PROTOCOLO-LCA-DR-LOPEZ-VIDRIERO-web.pdf>)

Ejercicio encaminado a recuperar la movilidad pasiva con extensión pasiva completa, este es uno de los puntos más importante a conseguir en esta primera fase. Para ello colocamos un pequeño rulo bajo la pierna a la altura del tobillo y le decimos al paciente que haga una contracción de cuádriceps. Aquí también estamos trabajando la potenciación de cuádriceps.

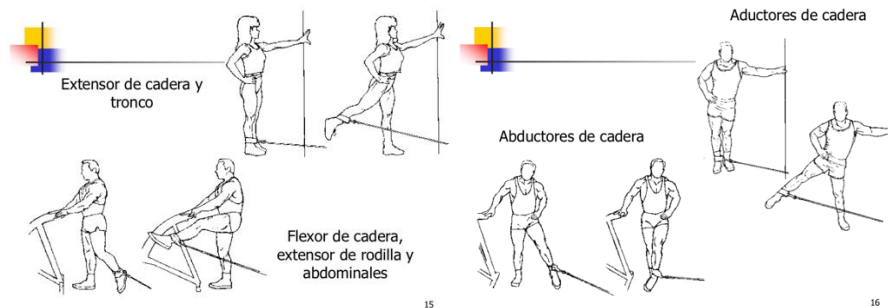


Figura 5. Bandas elásticas (Uso de bandas elásticas para ejercicios. Adaptado de Sistema Resistencia Progresiva por Giraldo, S.F. Tomado de: <https://uscfisiobasica.files.wordpress.com/2014/04/8-clase-implementos-de-resistencia-progresiva.pdf>)

La banda elástica es la máquina de fitness más sencilla, práctica y útil que se ha inventado. Es un trozo de látex muy elástico y resistente, de una longitud aproximada de dos metros y los distintos colores de la banda diferencian las distintas resistencias que ofrecen.

### TABLA DE USO THERA-BAND/TUBING

Sistema Métrico	Estiramiento en libras para varios pesos o grosores							
	Canela	Amarillo	Rojo	Verde	Azul	Negro	Gris	Dorado
Longitud de estiramiento	Extra delgado	Delgado	Medio	Fuerte	Extra fuerte	Especial fuerte	Súper fuerte	Máximo
Centímetros								
35	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	5.00	7.20
40	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	9.00	11.20
50	1.50	2.26	3.50	4.25	6.25	7.50	12.00	16.20
60	2.00	2.50	4.50	5.00	7.50	9.00	15.00	20.70
70	2.50	3.00	5.50	6.00	9.00	10.00	17.50	24.30
80	2.70	3.50	6.50	7.00	10.25	11.25	20.00	27.70
90	3.00	4.00	7.50	8.00	12.00	13.00	23.00	30.80

Figura 6. Tabla de uso bandas elásticas. (Tabla de uso de bandas elásticas por colores y longitudes de estiramiento según los colores, Adaptado de Sistemas de Resistencias Progresivas por Giraldo, S.F. Tomado de: <https://uscfisiobasica.files.wordpress.com/2014/04/8-clase-implementos-de-resistencia-progresiva.pdf>)

Provee un desarrollo seguro de fuerza, resistencia muscular, rango de movimiento y flexibilidad.

- Puede ser usado en pacientes de diferentes edades.
- La dirección del movimiento está menos restringida que con pesas libres o aparatos de ejercicios.
- Se pueden realizar ejercicios en planos de movimientos más funcionales.
- Se pueden aplicar los mismos principios del ejercicio de resistencia progresiva.

Incorpora contracciones excéntricas y concéntricas. Para conseguir un aumento de fuerza óptimo, la parte concéntrica debe durar 1-2 segundos y la parte excéntrica 2 - 4 segundos.

## 7. MARCO METODOLÓGICO

El diseño metodológico de este trabajo de grado se basó inicialmente en un proceso exploratorio, donde se analizaron algunos datos obtenidos durante un proceso de investigación sobre las lesiones de ligamento cruzado anterior (LCA), donde se pudo observar variables en cuanto a tipos de usuario que sufren dicha lesión, rangos de edad, tipo de lesiones, entre otros. Según su proceso formal fue un método hipotético-deductivo donde a partir de los análisis obtenidos en el proceso exploratorio, se logró identificar la hipótesis de ***que las personas que sufren una lesión de ligamento cruzado anterior no recuperan el 100% de la masa muscular de la pierna afectada, y esto genera dificultades en sus actividades diarias***. Esta hipótesis se pudo comprobar según las investigaciones encontradas en el proceso exploratorio y los antecedentes.

Según el grado de abstracción, fue una investigación aplicada, ya que se quiso diseñar un sistema de rehabilitación que permitiera el fortalecimiento de los músculos que conforman el muslo (cuádriceps e isquiotibiales) y mitigara la dificultad para desplazarse en personas que hayan sido sometidas a reconstrucción de ligamento cruzado anterior; es decir, además busco desarrollar un producto que mejore la calidad de vida de estas personas. Es por esto, que su grado de generalización, se basó en una investigación acción, que según Bernal (2010) El término "investigación acción" proviene del autor Kurt Lewis y fue utilizado por primera vez en 1944. Describía una forma de investigación que podía ligar el enfoque experimental de la ciencia social con programas de acción social que respondiera a los problemas sociales principales de

entonces. Mediante la investigación – acción, Lewis argumentaba que se podía lograr en forma simultánea avances teóricos y cambios sociales (p. 2).

Según la naturaleza de los datos podemos observar una metodología cuantitativa orientada a las conclusiones, ya que no se basó en el análisis subjetivo de los datos, sino que se hizo una extensa investigación bibliográfica acerca de las lesiones de LCA para tener un acercamiento científico al objeto de estudio.

Su manipulación de variables fue experimental, ya que se comprobaron los resultados del sistema de rehabilitación mediante pruebas en un paciente que sufrió dicha lesión. Además, según sus objetivos la investigación fue exploratoria, ya que los estudios con respecto al tema no fueron determinantes y dieron lugar al primer paso para desarrollar correctamente el sistema de rehabilitación anteriormente mencionado.

El tiempo en que se efectuó el presente trabajo es sincrónico, ya que se dio en un periodo corto de tiempo; adicionalmente, su investigación fue descriptiva con respecto a su dimensión cronológica, puesto que describió los fenómenos como aparecen en la actualidad.

Su enfoque fue basado en una investigación bibliográfica, dado que busco generar conocimiento en el tema a través de investigaciones ya existentes.

## 8. QUÉ, CÓMO, CUÁNDO, DÓNDE

El presente trabajo está definido en fases, la primera es la parte de observación e investigación del usuario, donde se realizará un análisis de la persona que sufre de pérdida de masa muscular en un miembro inferior a causa de RLCA, dando un primer acercamiento de cuáles son los músculos más afectados para poder definir necesidades puntuales. La siguiente fase consta en definir cuáles son los estándares que por ergonomía se ajustan al usuario, para poder hacer un prototipo funcional del artefacto, teniendo este puede ser validado para luego desarrollar un plan integral de rehabilitación. Luego se realizará una lluvia de ideas para encontrar cual es el artefacto que mejor se ajuste a las conclusiones que nos arrojó el estudio de las necesidades del usuario, en esta fase también se selecciona la mejor idea después de un proceso Brief y pds. Se hace el análisis requerido de los materiales seleccionados para el artefacto. Se busca que el artefacto pueda servir a diferentes usuarios, tanto hombres como mujeres, donde por medio de un tipo de mecanismo y/o método se pueda cambiar la intensidad de la fuerza de estimulación de los músculos a rehabilitar. Fase de prototipado, donde se fabricará el artefacto, garantizando todos los estándares de calidad que se necesitan tanto el brief como el pds. Luego se harán pruebas de funcionamiento con los diferentes usuarios y se harán las correcciones y modificaciones que sean pertinentes para terminar con el prototipo funcional.

## **9. RESULTADOS**

### **9.1 DESARROLLO METODOLÓGICO**

En el presente trabajo se realizaron dos actividades de recolección de datos para tratar de obtener la mayor información posible acerca de las personas que sufrieron RLCA en algún momento de su vida, y que hoy en día pueden tener algunas secuelas debido a la pérdida de masa muscular en la extremidad intervenida.

Como primera actividad se realizó la observación de un usuario, al cual lo han operado en tres ocasiones de la rodilla. Esta actividad nos arrojó excelentes resultados basados en las limitaciones con las que nuestro sujeto convive día a día.

La siguiente actividad de recolección de datos, fue tomar una muestra de 20 jugadores de fútbol aficionados, quienes practica este deporte solo por diversión y de ninguna manera profesional. De este grupo de jugadores; nos dimos cuenta que 6 personas tienen RLCA, a los cuales les hicimos una encuesta de 14 preguntas cerradas para poder validar las conclusiones obtenidas en la observación acerca de las personas que han sufrido esta lesión

### **9.2 DESCRIPCIÓN DE LA OBSERVACIÓN**

La observación se llevó a cabo en el Edificio Milla de Oro en la ciudad Medellín, en la empresa Ferrato Inversiones S.A.S. donde la jornada laboral es de 8 am a 12:30pm y de 1:30 a 5:30 pm de lunes a viernes, se hizo el seguimiento el día viernes 26 de octubre de 2018 a nuestro usuario, el cual es un joven de 26 años que se



desempeña como tesorero general de la compañía, su profesión es Administrador Financiero. Nuestro usuario fue operado 3 veces de LCA, dos de las operaciones fueron en la pierna derecha y la restante en la pierna izquierda, dichas lesiones las padeció después de los 20 años, mientras practicaba baloncesto a nivel Universitario.

Debido a su cargo en la empresa pasa largos periodos de tiempo sentado en su escritorio, y logramos identificar que tiene limitaciones para sentarse y levantarse de su puesto; además, el inicio de la marcha al desplazarse lo hace con una leve cojera, donde en algunas ocasiones su rostro refleja alguna incomodidad debido al dolor que se presenta al iniciar los desplazamientos.

Se logró evidenciar, además, que cuando se le cae algún elemento al suelo, para recogerlo, lo hace de una manera muy incómoda, ya que al flexionar sus rodillas, es cuando mayor fuerza deben realizar los músculos que comprenden toda la pierna, en especial la zona del muslo que es donde recae el 90% de la fuerza para poder sostener el cuerpo mientras se puede arrodillar.

De este modo, la observación del usuario nos valida que la pérdida de la masa muscular en el proceso de rehabilitación es el principal factor que determina las limitaciones físicas de las personas que fueron sometidas al proceso de RLCA.

### 9.3 RESULTADOS DE LA ENCUESTA

La encuesta fue realizada a un grupo de personas que practicaron en algún momento de su vida un deporte de contacto de manera aficionada; y que hoy en día ya no lo hacen por que sufrieron en cierto tipo de lesión en la rodilla.

Las siguientes conclusiones fueron resultado del análisis de las respuestas **(VER ANEXO 11.1)**, donde se tomó una muestra de 6 personas en los alrededores de un escenario deportivo de la ciudad de Medellín.

El 50%. De las personas encuestadas les gustaría tener un artefacto para poder hacer su rehabilitación en cualquier lugar.

El 100 % de los encuestados tiene limitaciones para desplazarse.

EL 100% de los encuestados perdieron una cantidad significativa de masa muscular en el miembro afectado y no lo han logrado recuperar.

El 66% de los encuestados no quedaron contentos con su proceso de rehabilitación.

## 9.4 MÉTODOS DE DISEÑO

Se utilizaron varias técnicas de diseño tales como la caja negra y la caja transparente, que ayudaron para determinar diversos tipos de mecanismos que podría necesitar el sistema; después, se realizó una matriz morfológica para obtener posibles soluciones a los requerimientos de producto (PDS), inmediatamente después se realizó una lluvia de ideas para determinar el diseño del producto a fabricar, luego de tener varias propuestas, se realizó una matriz para evaluarlas, donde se sometieron a criterios de valoración subjetivos según los tipos de sistemas que requería el producto (sistema de tensión, sistema de sujeción, sistema de plegado, sistema de estabilidad), luego de evaluar los sistemas, se hizo una ponderación de los resultados de cada propuesta, la propuesta que obtuvo el mejor puntaje fue seleccionada como el producto a fabricar. A continuación, se muestran los métodos anteriormente descritos:

### CAJA NEGRA Y CAJA TRANSPARENTE

#### CAJA NEGRA

El dispositivo de rehabilitación se descompuso en sus elementos básicos para reconocerlos individualmente, se obtuvo en primera instancia la *sujeción-amarre*, haciendo referencia al lugar donde debía estar ubicado el dispositivo y su forma de posicionamiento, luego se determinaron mecanismos para la *movilidad de la articulación*, siendo este ítem de vital importancia ya que junto sistema de sujeción,

daría solución al problema anteriormente planteado. Además, se tuvo en cuenta la *comodidad*, la *tensión* y la *facilidad de transportar*, ya que estos elementos son esenciales para el óptimo funcionamiento del producto.

Conociendo los elementos a tener en cuenta para el sistema, se realizó un análisis de los mismos y este dio como resultado algunos puntos a tener en cuenta, se encontró importante que tendría que tener un buen ajuste a la pierna y que debía generar mucha estabilidad para que el usuario sienta confianza al hacer uso del producto. Ver figura 1

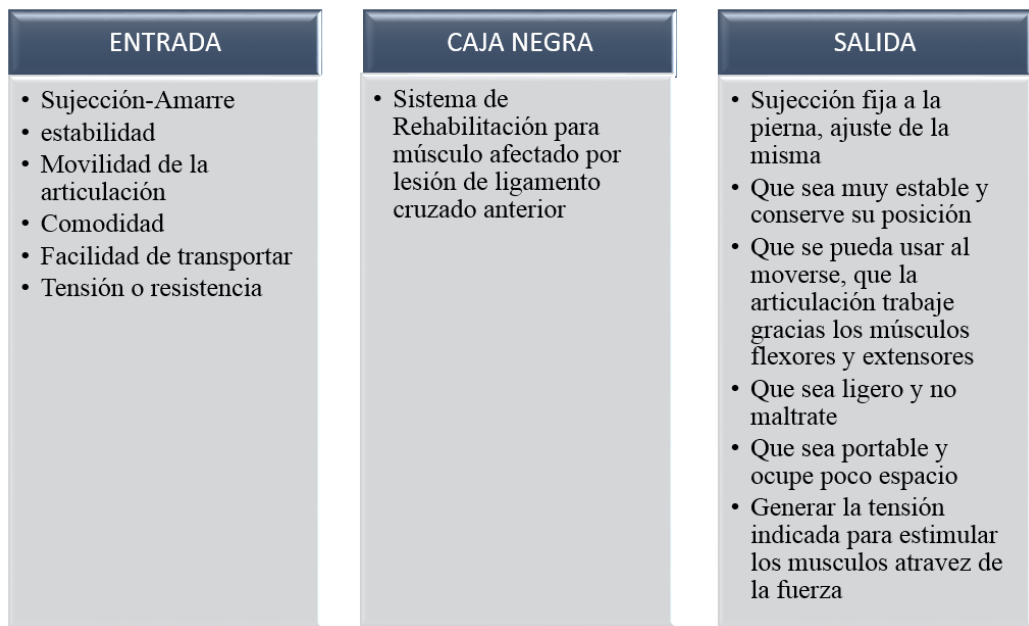


Figura 1 CAJA NEGRA. Fuente propia.

### CAJA TRANSPARENTE

Una vez realizada la caja negra, se procede a buscar problemas más específicos que pudiera tener el producto, es por eso que se definieron elementos como la *sujeción*, la *generación de tensión* y la *estabilidad de la articulación* mientras esta el usuario está utilizando el producto.

Se logró determinar que el sistema de estabilidad debe de estar ligado al sistema de tensión, ya que este debe absorber las sobrecargas que pueda traer una mala tensión aplicada. Ver figura 2

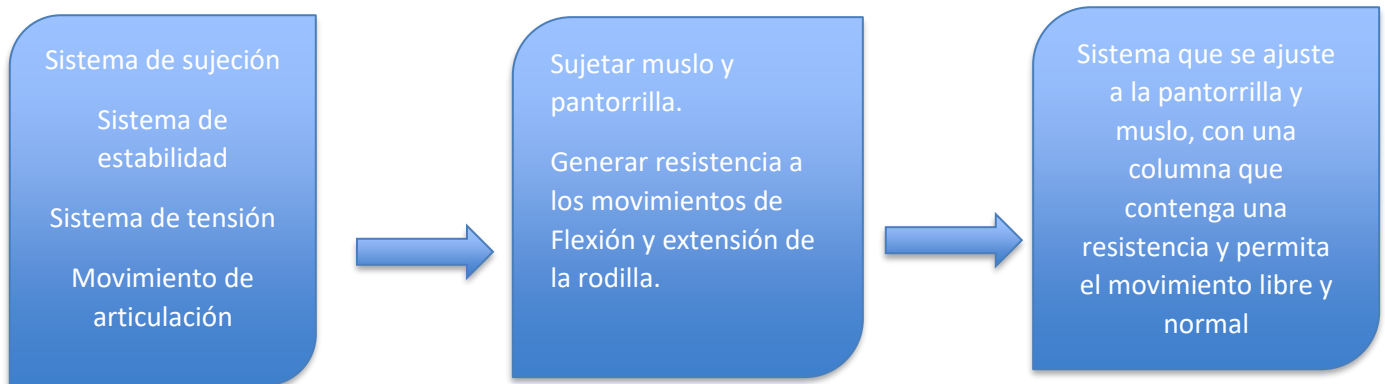


Figura 2 CAJA TRANSPARENTE. Fuente Propia

## **MATRIZ MORFOLÓGICA**

Para la matriz morfológica se tuvieron en cuenta 6 sistemas básicos para que el producto pudiera funcionar de manera eficiente, estos sistemas fueron abstraídos de los resultados que se obtuvieron en la caja negra y la caja transparente. A continuación, se muestra la matriz morfológica.

### SUJECCIÓN - AMARRE



### ESTABILIDAD



### MOVIMIENTO DE LA ARTICULACIÓN



## COMODIDAD



## FACILIDAD DE TRANSPORTAR



## TENSIÓN



## 9.5 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE PRODUCTO – PDS

A continuación, se presenta la tabla de Requerimientos de Diseño de Producto – PDS.

<b>REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE PRODUCTO - PDS</b>		
1	DESEMPEÑOS FUNCIONALES RENDIMIENTO (Performance)	Respecto a la manera como el producto cumple su función y servicios que presta. Qué hará el producto y hasta que nivel de desempeño
2	ENTORNO (Environment)	Como se adapta el producto a las condiciones entorno-ambiente
3	VIDA DE SERVICIO (Life in service)	Durabilidad del producto en el tiempo
4	MANTENIMIENTO (Maintenance)	Con respecto a la facilidad de limpiarlo, arreglarlo o cambiarle piezas.
5	COSTO OBJETIVO DEL PRODUCTO (Target product cost)	Cuanto valdrá manufacturar el producto (porcentaje del precio)
6	COMPETENCIA (Competition)	Comparación con otros productos similares para especificar atributos competitivos (análisis por benchmarking)
7	TRANSPORTE (Shipping)	Con relación a la facilidad de transporte en la cadena logística (de la fábrica al punto de venta)
8	EMPAQUE (Packing)	Frente a la protección, información y elementos (llamativos) requeridos
9	CANTIDAD (Quantity)	Con relación a la cantidad que se fabricará del producto (por año)
10	RECURSOS PARA LA MANUFACTURA (Manufacturing facility)	Maquinaria, equipos y tecnología de los que se debe disponer o dispone la empresa en la manufactura



11	TAMAÑO (Size)	Con relación a las dimensiones adecuadas para el producto
12	PESO (Weight)	Cuál es el peso requerido con relación a la manipulación del producto durante su manufactura, tránsito, comercialización, instalación y uso
13	ESTETICA, APARIENCIA Y ACABADO (Aesthetics, appearance and finish)	Apariencia externa del producto ya acabados
14	MATERIALES (Materials)	Con relación a las cualidades de los materiales de los cuales estará hecho el producto
15	TIEMPO DE VIDA DEL PRODUCTO (Product life span)	Cuanto tiempo estará en producción y en el mercado
16	ESTANDARES (Standars and specifications)	Si la tipología del producto estará sometido a estándares, normas, regulaciones o leyes en el mercado objetivo
17	ERGONOMÍA (Ergonomics)	Comodidad o facilidades para el uso del producto
18	CONSUMIDOR (Customer)	Con relación a las necesidades, demandas y deseos de los consumidores
19	CALIDAD Y CONFIABILIDAD (Quality and reliability)	Con relación a la factura del producto y las garantías de su idoneidad para el mercado
20	ALMACENAMIENTO (Shelf life) (Storage)	En cuanto al tiempo que podrá mantenerse almacenado el producto sin pérdidas de calidad (de la fábrica hasta el punto de venta)
21	PROCESOS DE MANUFACTURA (Processes)	Procesos industriales que se requieren para la manufactura del producto
22	TIEMPO PARA EL DESARROLLO (Time scale- schedules)	Cuanto tomará el proceso de desarrollo, implementación de manufactura y lanzamiento del producto
23	PRUEBAS (Testing)	Las que se le hacen al producto antes de salir al mercado. Cuales se le practicarán al producto

24	SEGURIDAD (Safety)	En cuanto a riesgos que corre el usuario durante el uso del producto
25	LIMITACIONES DE LA EMPRESA (Company constraints)	Qué limitaciones herramientas, financieras, tecnológicas, de personal y know how (conocimiento) podía tener la empresa en el desarrollo e implementación del producto
26	LIMITACIONES DEL MERCADO (Market constraints)	Con respecto a la tipología de producto al que está acostumbrado el mercado (precio, comercialización, servicios, tecnología, atributos)
27	PATENTES, LITERATURA E INFORMACIÓN DE PRODUCTO (Patents, literatura and product data)	Si el producto o sus características están sometidas al régimen de patentes o es posible o necesario el uso de ellas
28	IMPLICACIONES POLITICAS Y SOCIALES (Politics and social implications)	Respecto a si el producto estará influido por aspectos culturales, prácticas sociales o por la situación política del contexto
29	ASPECTOS LEGALES (Legal)	Si el producto deberá cumplir con regulaciones y leyes para su producción, comercialización o consumo en el mercado objetivo
30	INSTALACIÓN (Installation)	En cuanto a facilidad de instalarlo y ponerlo en funcionamiento y si se requieren adecuaciones
31	DOCUMENTACIÓN (Documentation)	Interna: planos, especificaciones, fichas técnicas, flujos de producción, etc Externa: Catálogos, manuales de instalación y funcionamiento e instructivos
32	DESECHO Y VERTIDO (Disposal)	Efectos del producto para el medio ambiente una vez deje de cumplir su función y su posibilidad de ser reciclado, desensamblado, etc.

33	PRECIO (Price)	Valor (de cambio) monetario del producto en el momento de la compra
----	-------------------	---

## 9.6 OPORTUNIDAD DE DISEÑO

Sistema de rehabilitación para músculo afectado por lesión de ligamento cruzado anterior (LCA)

## 9.7 ENUNCIADO DE REQUERIMIENTOS DE DISEÑO – PDS:

1. DESEMPEÑOS FUNCIONALES Y RENDIMIENTO (Performance)
  1. Mejorará las condiciones musculares en pacientes sometidos a RLCA
  2. Mejorará la marcha en personas que hayan sido sometidas a RLCA
  3. Podrá usarse en cualquier entorno en el cual el paciente este sentado
  4. De fácil uso
  5. Se puede usar directamente en la pierna, o sobre la ropa
2. ENTORNO (Enviroment)
  6. Será resistente en condiciones de polvo o viento
  7. Temperatura de uso entre -1° a 100°C
3. VIDA EN SERVICIO (Life in service)
  8. 3 años
4. MANTENIMIENTO (Maintenance)
  9. Se podrá limpiar de forma fácil
  10. Se venderán repuestos en caso de que el usuario los requiera
  11. Las piezas podrán ser cambiadas por los mismos usuarios
5. COSTO OBJETIVO DEL PRODUCTO (Target product cost)
  12. El 25% el precio de venta al público
6. COMPETENCIA (Competition)
  13. Se deberán analizar los principales productores de equipos ortopédicos o de rehabilitación para comparar diferentes aspectos y atributos del producto, eso se hará más con respecto al tipo de producto y no del producto en sí, ya que en el mercado no se encuentra ningún sistema de post-rehabilitación como lo planteamos
7. TRANSPORTE (Shipping)
  14. Alianzas con transportadoras logísticas para generar un desplazamiento rápido y eficiente de la fábrica al punto de venta
8. EMPAQUE (Packing)
  15. El empaque debe ser liviano
  16. Debe ser permeable, de modo que permita el proceso de esterilización en todas sus fases

17. Debe poseer una porosidad adecuada, el tamaño de los poros del material no debe ser superior a 0,5 micrones. Mientras más pequeño es el poro, existe mayor seguridad de no contaminar el contenido.
18. Debe ser hermético
19. Debe ser resistente a altas presiones, al aire y a la manipulación del producto, sin que se produzcan daños ni rupturas
20. Debe ser atóxico y estar libre de sustancias que dañen al paciente o a la persona que lo manipula
9. CANTIDAD (Quantity)
  21. Lotes de 1000 a 1500 unidades
10. RECURSOS PARA LA MANUFACTURA (Manufacturing facility)
  22. Adaptarse a la capacidad productiva de la empresa
  23. Adaptarse a la herramienta disponible en el área de manufactura
11. TAMAÑO (Size)
  24. Deberá tener el tamaño adecuado para ser usado en personas de diferentes percentiles
  25. Deberá tener un tamaño óptimo para ser llevado en una maleta de uso diario (para laptops de 14" aproximadamente)
12. PESO (Weight)
  26. Pesará máximo 5 Kilogramos
13. ESTÉTICA, APARIENCIA Y ACABADO (Aesthetics, appearance and finish)
  27. Presentará una apariencia compacta, ligera y cómoda
  28. Debe transmitir confiabilidad
14. MATERIALES (Materials)
  29. De peso liviano para que sea de fácil transporte
  30. Resistente a golpes para evitar su deterioro
  31. De alta calidad
15. TIEMPO DE VIDA DEL PRODUCTO (Product life span)
  32. Veinte años
16. ESTÁNDARES (Standarts and specifications)
  33. Se investigara y aplicarán en el diseño tanto los estándares internos de la empresa como los del sector salud
17. ERGONOMÍA (Ergonomics)
  34. Será fácil de manipular y almacenar
  35. Será fácil de poner por una sola persona
  36. Se ajustará a diferentes percentiles
  37. Será cómodo al uso
18. CONSUMIDOR (Customer)
  38. Personas que hayan sido sometidas a cirugía de reconstrucción de Ligamento Cruzado Anterior (LCA) y hayan quedado con molestias en el músculo afectado después de la rehabilitación.
19. CALIDAD Y CONFIABILIDAD (Quality and reliability)
  39. Tendrá una posibilidad de falla del 5% durante su ciclo de vida

- 40. Tendrá servicio post-venta
- 20. ALMACENAMIENTO (Shelf life) (Storage)
  - 41. Se podrá almacenar hasta por 6 años sin sufrir deterioro
- 21. PROCESOS DE MANUFACTURA (Processes)
  - 42. Se fabricarán lotes de producción según demanda
- 22. TIEMPO PARA EL DESARROLLO (Time scales-schedules)
  - 43. Se comenzará su producción una vez estén totalmente definidas sus especificaciones y se hayan hecho pruebas en prototipos funcionales que arrojen resultados óptimos en pacientes que hayan sufrido lesión de LCA
- 23. PRUEBAS (Testing)
  - 44. Se hará verificación del prototipo con base en los PDS's definidos
  - 45. Se harán pruebas ergonómicas en el laboratorio de biomecánica del Instituto Tecnológico Metropolitano.
  - 46. Se harán muestreos por lotes para verificación de calidad
- 24. SEGURIDAD (Safety)
  - 47. El usuario no deberá sufrir algún riesgo con el uso del producto
  - 48. Se deberán validar las cargas adecuadas para el usuario con su fisioterapeuta
  - 49. Será de fácil uso y manipulación
- 25. LIMITACIONES DE LA EMPRESA (Market constraints)
  - 50. El producto se debe ajustar a los recursos de la empresa
- 26. LIMITACIONES DEL MERCADO (Market constraints)
  - 51. Se deberán investigar tendencias del sector en relación con el producto
  - 52. Mercado local
- 27. PATENTES, LITERATURA E INFORMACIÓN DEL PRODUCTO (Patents, literature and product data)
  - 53. Se hará verificación de patentes relacionadas con la tipología de producto
- 28. IMPLICACIONES POLITICAS Y SOCIALES (Politica and social implications)
  - 54. El producto no deberá estar influido por situaciones políticas
  - 55. Deberá velar por mejorar la calidad de vida del paciente
- 29. ASPECTOS LEGALES (Legal)
  - 56. Deberá investigarse que regulaciones debe cumplir el producto para poder ser comercializado
  - 57. Pago de impuestos
  - 58. Regulación de precios
- 30. INSTALACIÓN (Installation)
  - 59. Debe ser de fácil instalación por una persona
  - 60. Su funcionamiento debe ser de la forma más natural posible (movimiento de la pierna)
  - 61. Las adecuaciones entorno a los diferentes percentiles deben ser mínimas
- 31. DOCUMENTACIÓN (Documentation)
  - 62. Debe tener planos técnicos para la producción
  - 63. Las especificaciones del producto deben ser claras
  - 64. Debe ir con instructivos de funcionamiento para el usuario

32. DESECHO Y VERTIDO (Disposal)

65. Su efecto para el medio ambiente debe ser mínimo

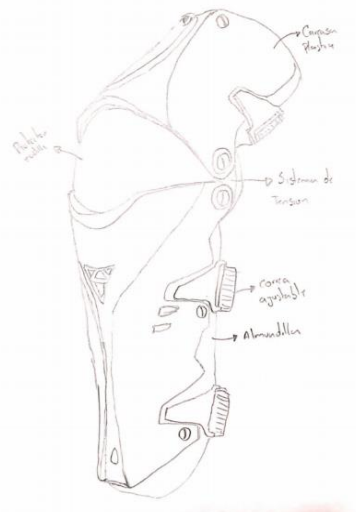
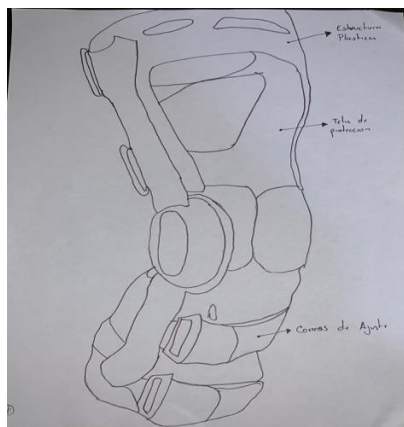
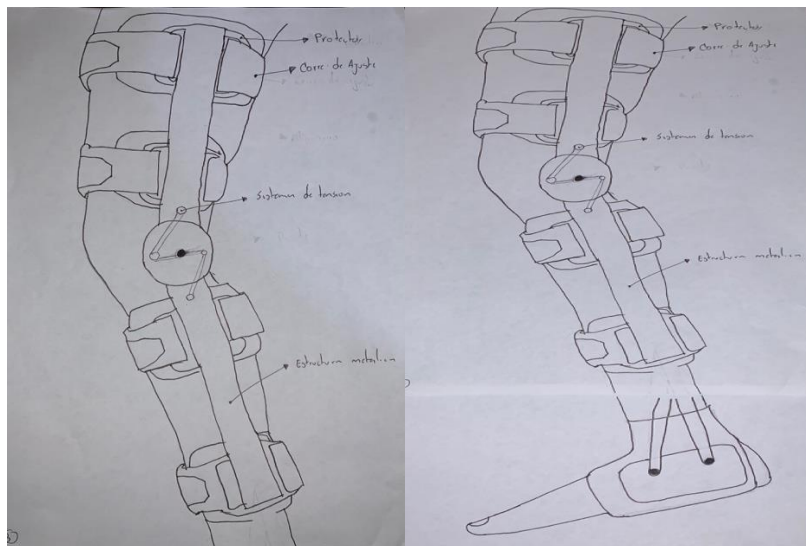
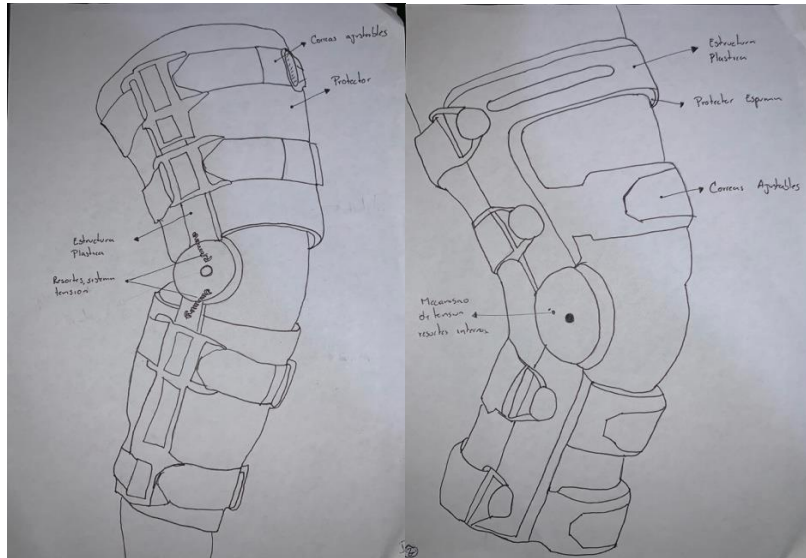
66. Los materiales utilizados no pueden tener altos grados de contaminación en el medio ambiente

67. Debe tener posibilidad de reciclado

33. PRECIO (Price)

68. Su precio de venta al público no puede exceder los \$500.000 COP.

# PROPUESTAS



## MATRIZ DE EVALUACIÓN – SELECCIÓN DE PROPUESTAS

Cada tabla presentada a continuación, corresponde a un sistema a evaluar. Se definieron algunos criterios de evaluación según los sistemas y se calificaron de 1 a 5, siendo 5 el valor máximo. Esta calificación equivale a un porcentaje sobre el 100% del sistema evaluado, donde cada propuesta arrojó una puntuación total. Según la puntuación de cada propuesta, si el resultado es mayor a 3 puntos, se le da una calificación de CONTINUAR, lo cual significa que el sistema es viable. Según la puntuación total, se definió la posición de cada propuesta, siendo la número 1 la mejor calificada.

Matriz de Evaluación													
SISTEMA DE SUJECION		Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3		Propuesta 4		Propuesta 5		Propuesta 6	
Criterio	Peso	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada
Facil De fabricar	20%	3	0,6	3	0,6	5	1	3	0,6	5	1	3	0,6
Facil de Limpiar	5%	2	0,1	3	0,15	4	0,2	2	0,1	4	0,2	1	0,05
Facil de Instalar	10%	5	0,5	1	0,1	3	0,3	1	0,1	3	0,3	5	0,5
Facil de Armar	5%	3	0,15	1	0,05	4	0,2	1	0,05	3	0,15	3	0,15
Durabilidad	10%	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Facil de Desarmar	5%	3	0,15	1	0,05	4	0,2	1	0,05	3	0,15	3	0,15
Facil de Usar	25%	5	1,25	5	1,25	3	0,75	5	1,25	3	0,75	5	1,25
Comodidad	15%	3	0,45	3	0,45	4	0,6	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Facil de Almacenar	5%	3	0,15	1	0,05	3	0,15	1	0,05	3	0,15	3	0,15
Puntuacion total		3,65		3		3,7		2,95		3,45		3,6	
Rango		2		5		1		6		4		3	
Continuar		CONTINUAR		CONTINUAR		CONTINUAR		NO		CONTINUAR		CONTINUAR	

Matriz de Evaluación													
SISTEMA DE TENSION		Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3		Propuesta 4		Propuesta 5		Propuesta 6	
Criterio	Peso	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada
Facil De fabricar	20%	4	0,8	2	0,4	4	0,8	2	0,4	3	0,6	3	0,6
Facil de Limpiar	5%	2	0,1	3	0,15	4	0,2	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Facil de Instalar	10%	3	0,3	3	0,3	4	0,4	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Facil de Armar	5%	3	0,15	2	0,1	4	0,2	2	0,1	3	0,15	2	0,1
Durabilidad	10%	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Facil de Desarmar	5%	3	0,15	2	0,1	4	0,2	2	0,1	3	0,15	2	0,1
Facil de Usar	25%	3	0,75	3	0,75	4	1	3	0,75	4	1	3	0,75
Comodidad	15%	2	0,3	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Facil de Almacenar	5%	2	0,1	4	0,2	4	0,2	3	0,15	4	0,2	3	0,15
Puntuacion total		2,95		2,75		3,75		2,7		3,3		2,9	
Rango		3		5		1		6		2		4	
Continuar		NO		NO		CONTINUAR		NO		CONTINUAR		NO	



Matriz de Evaluacion													
SISTEMA DE ESTABILIDAD		Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3		Propuesta 4		Propuesta 5		Propuesta 6	
Criterio	Peso	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada
Facil De fabricar	20%	4	0,8	1	0,2	5	1	1	0,2	5	1	1	0,2
Facil de Limpiar	5%	2	0,1	3	0,15	4	0,2	3	0,15	4	0,2	3	0,15
Facil de Instalar	10%	2	0,2	1	0,1	5	0,5	1	0,1	5	0,5	1	0,1
Facil de Armar	5%	2	0,1	1	0,05	5	0,25	1	0,05	4	0,2	1	0,05
Durabilidad	10%	5	0,5	5	0,5	3	0,3	5	0,5	3	0,3	5	0,5
Facil de Desarmar	5%	2	0,1	1	0,05	5	0,25	2	0,1	4	0,2	2	0,1
Facil de Usar	25%	3	0,75	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
Comodidad	15%	5	0,75	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Facil de Almacenar	5%	2	0,1	2	0,1	5	0,25	2	0,1	4	0,2	3	0,15
Puntuacion total		3,4		2,85		4,45		2,9		4,3		2,95	
Rango		3		6		1		5		2		4	
Continuar		CONTINUAR		NO		CONTINUAR		NO		CONTINUAR		NO	

Matriz de Evaluacion													
SISTEMA DE PLEGADO		Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3		Propuesta 4		Propuesta 5		Propuesta 6	
Criterio	Peso	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada
Facil De fabricar	20%	1	0,2	1	0,2	5	1	1	0,2	5	1	1	0,2
Facil de Limpiar	5%	3	0,15	5	0,25	4	0,2	5	0,25	4	0,2	3	0,15
Facil de Instalar	10%	3	0,3	1	0,1	5	0,5	1	0,1	5	0,5	3	0,3
Facil de Armar	5%	2	0,1	1	0,05	5	0,25	1	0,05	5	0,25	2	0,1
Durabilidad	10%	2	0,2	5	0,5	3	0,3	5	0,5	3	0,3	2	0,2
Facil de Desarmar	5%	2	0,1	1	0,05	5	0,25	1	0,05	5	0,25	2	0,1
Facil de Usar	25%	2	0,5	1	0,25	5	1,25	1	0,25	4	1	4	1
Comodidad	15%	3	0,45	3	0,45	4	0,6	3	0,45	4	0,6	3	0,45
Facil de Almacenar	5%	1	0,05	0	0	5	0,25	1	0,05	4	0,2	3	0,15
Puntuacion total		2,05		1,85		4,6		1,9		4,3		2,65	
Rango		5		6		1		3		2		4	
Continuar		NO		NO		CONTINUAR		NO		CONTINUAR		NO	

Matriz de Evaluacion													
ENSAMBLE DEL PRODUCTO		Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3		Propuesta 4		Propuesta 5		Propuesta 6	
Criterio	Peso	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada	Calificacion	Puntuacion Ponderada
Facil De fabricar	20%	3	0,6	0	0	5	1	0	0	5	1	2	0,4
Facil de Limpiar	5%	2	0,1	5	0,25	4	0,2	5	0,25	4	0,2	2	0,1
Facil de Instalar	10%	2	0,2	1	0,1	5	0,5	1	0,1	4	0,4	2	0,2
Facil de Armar	5%	2	0,1	1	0,05	5	0,25	1	0,05	5	0,25	2	0,1
Durabilidad	10%	4	0,4	4	0,4	4	0,4	5	0,5	4	0,4	4	0,4
Facil de Desarmar	5%	2	0,1	1	0,05	5	0,25	1	0,05	5	0,25	2	0,1
Facil de Usar	25%	3	0,75	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	3	0,75
Comodidad	15%	3,5	0,525	5	0,75	4	0,6	5	0,75	3	0,45	3	0,45
Facil de Almacenar	5%	3	0,15	0,5	0,025	5	0,25	0,5	0,025	5	0,25	3	0,15
Puntuacion total		2,925		2,875		4,7		2,975		4,45		2,65	
Rango		4		5		1		3		2		6	
Continuar		NO		NO		CONTINUAR		NO		CONTINUAR		NO	

Calificadas las propuestas por sistemas, se realizó una tabla donde se compararon los resultados y se analizó cual propuesta obtuvo las mejores puntuaciones, así se obtuvo el diseño del producto a fabricar, siendo la Propuesta 3 la elegida.

Criterio	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6
SISTEMA DE SUJECION	2	5	1	6	4	3
SISTEMA DE TENSION	3	5	1	6	2	4
SISTEMA DE ESTABILIDAD	3	6	1	5	2	4
SISTEMA DE PLEGADO	5	6	1	3	2	4
ENSAMBLE DEL PRODUCTO	4	5	1	3	2	6
POSICION MEDIA	3,4	5,4	1	4,6	2,4	4,2

## **9.8 CONCLUSIONES MÉTODO DE DISEÑO**

Luego de evaluar cada uno de los resultados, se realizó un prototipo inicial en el que se pudo validar que el sistema de sujeción y el sistema de tensión se estaban diseñando de la mejor manera para que todo el sistema tuviera un óptimo funcionamiento (**VER ANEXO 11.2**).

## 9.9 PRODUCTO DESARROLLADO

Luego de evaluar detenidamente cada uno de los resultados arrojados por las técnicas de diseño, se desarrolló un producto pensado para uso cotidiano, dándole solución a los requerimientos que se presentaron en el PDS. De esta evaluación se obtuvo el sistema de rehabilitación llamado REXO (rehabilitación por medio de un exoesqueleto).

### SIGNOS DISTINTIVOS: MARCA Y LOGO



Figura 3. Imagen de la marca y logo. Fuente propia

## RENDER DEL PRODUCTO FINAL

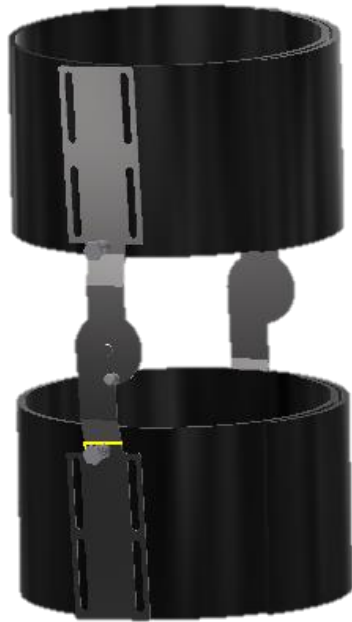


Figura 4. Imagen render

## PRODUCTO FINAL



Figura 5. Imagen del producto final. Para ver más imágenes **ver Anexo 11.4**

## MANUAL DE USO

# MANUAL DE USO



**Paso 1**  
Ubicar los protectores en el muslo y en la pantorrilla ajustándolos por medio del velcro. El protector más pequeño va ubicado en la pantorrilla y el más grande en el muslo.



**Paso 2**  
Con la pierna estirada, se debe poner la estructura metálica a ambos lados de la misma, asegurándose de que la parte circular de la estructura quede a la misma altura que la rodilla



**Paso 3**  
Ajuste la estructura metálica por medio de las correas ajustables, estas deben pasar por los agujeros de la estructura y se gradúan por medio de velcro según la medida que se requiera

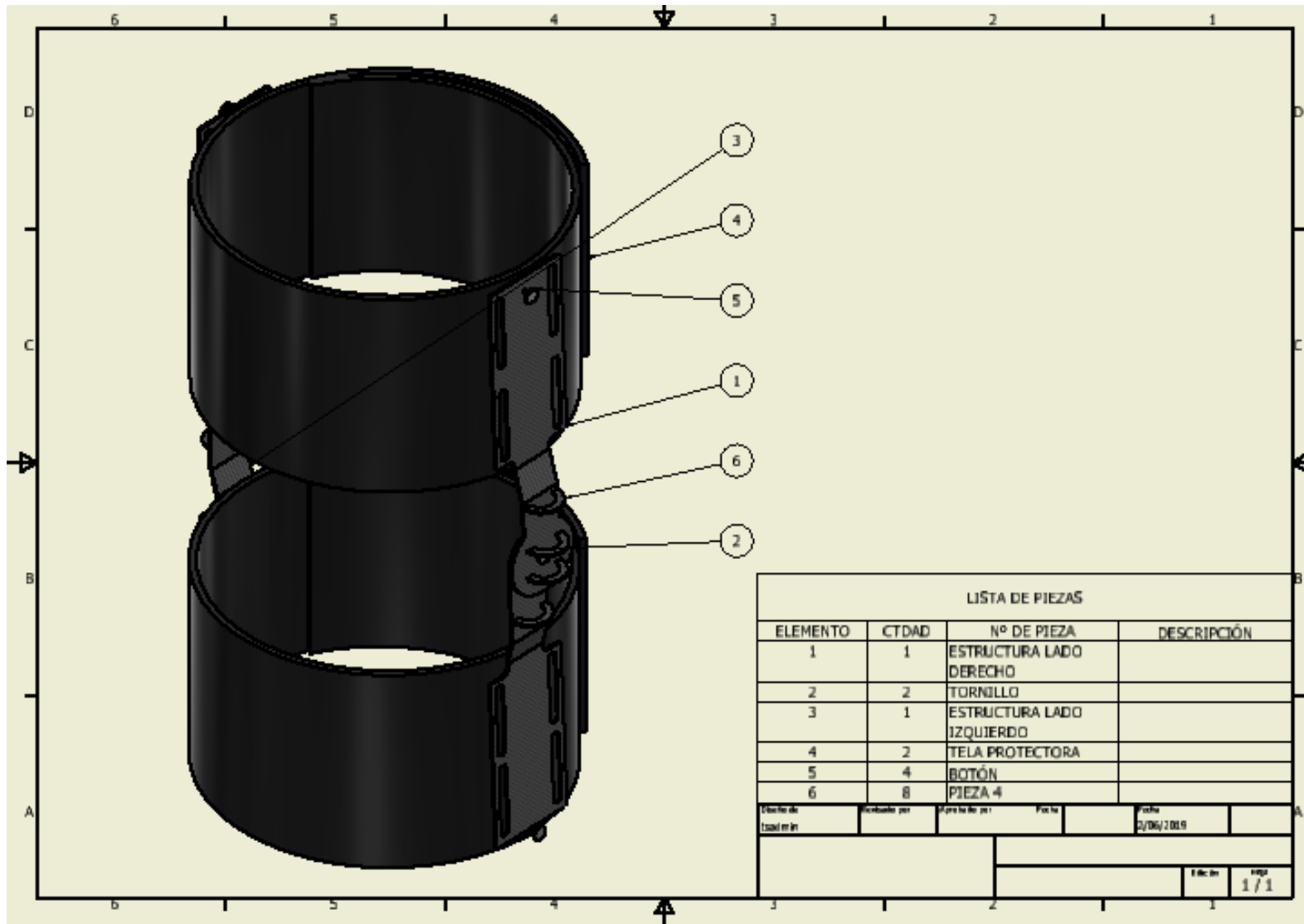


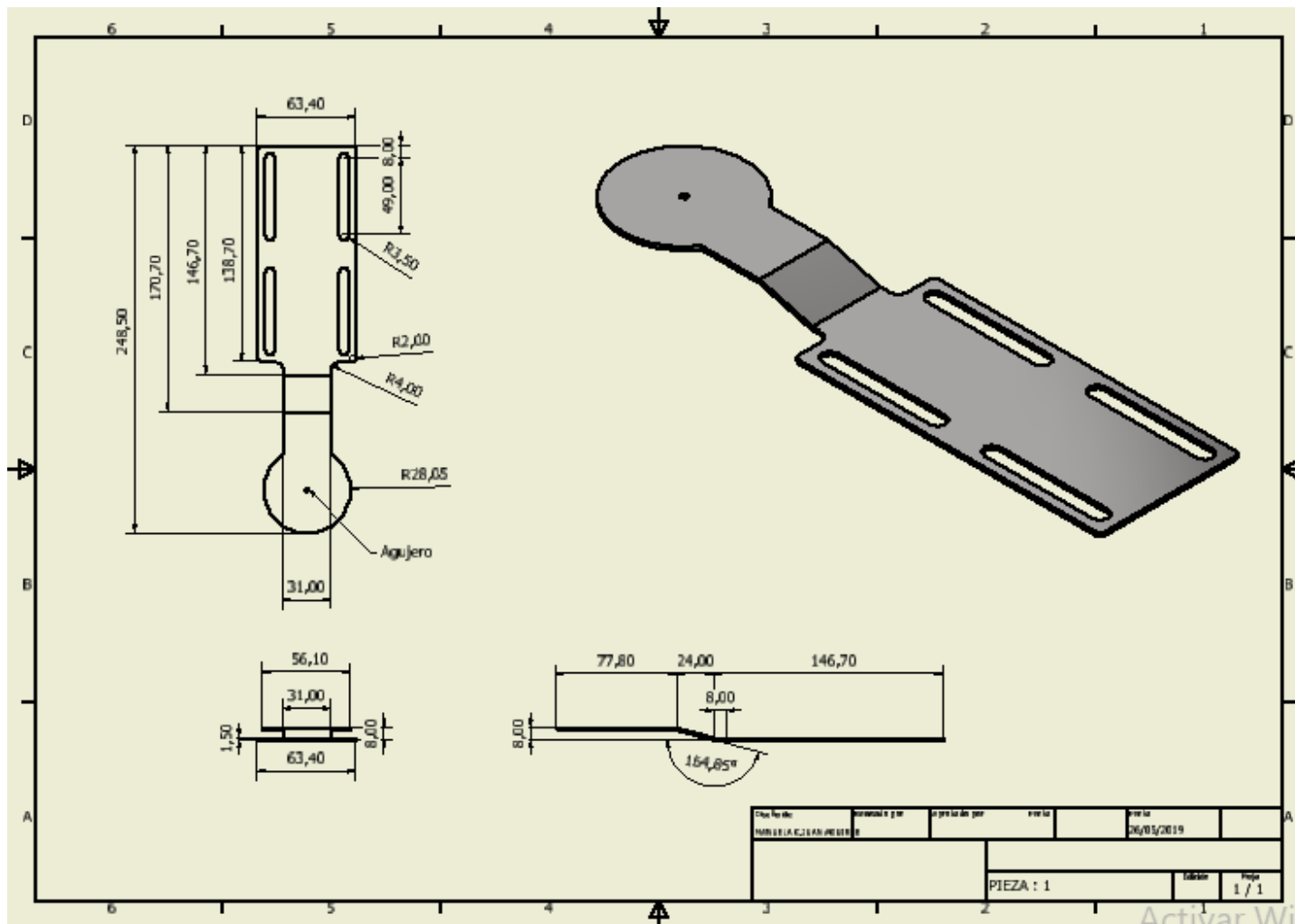
**Paso 4**  
Inserte el theraband según la ilustración, este debe ser pasado por los medios circulares laterales de la estructura, se puede ajustar la tensión dependiendo del theraband utilizado



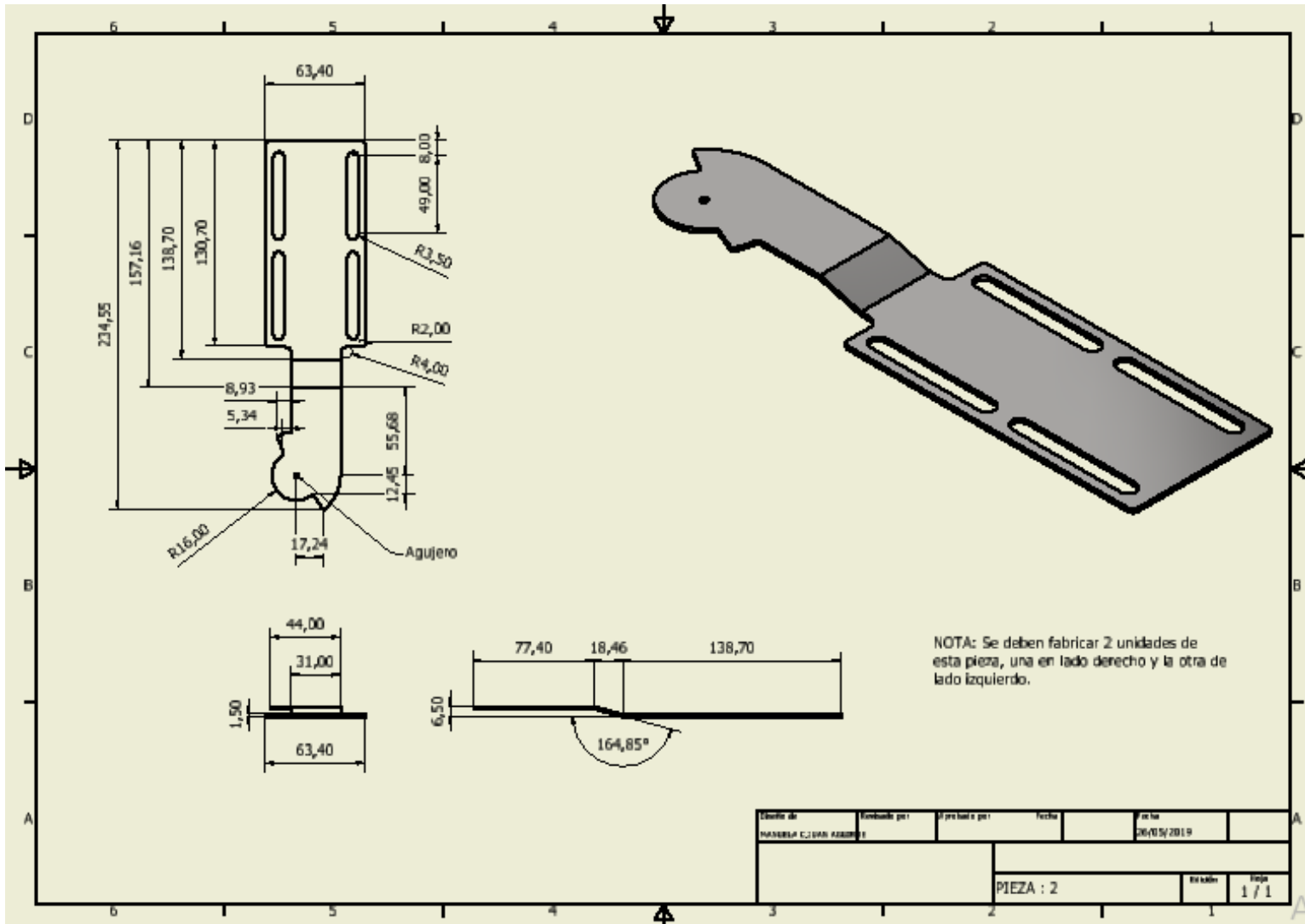
Figura 6. Imagen del manual de uso. Fuente propia

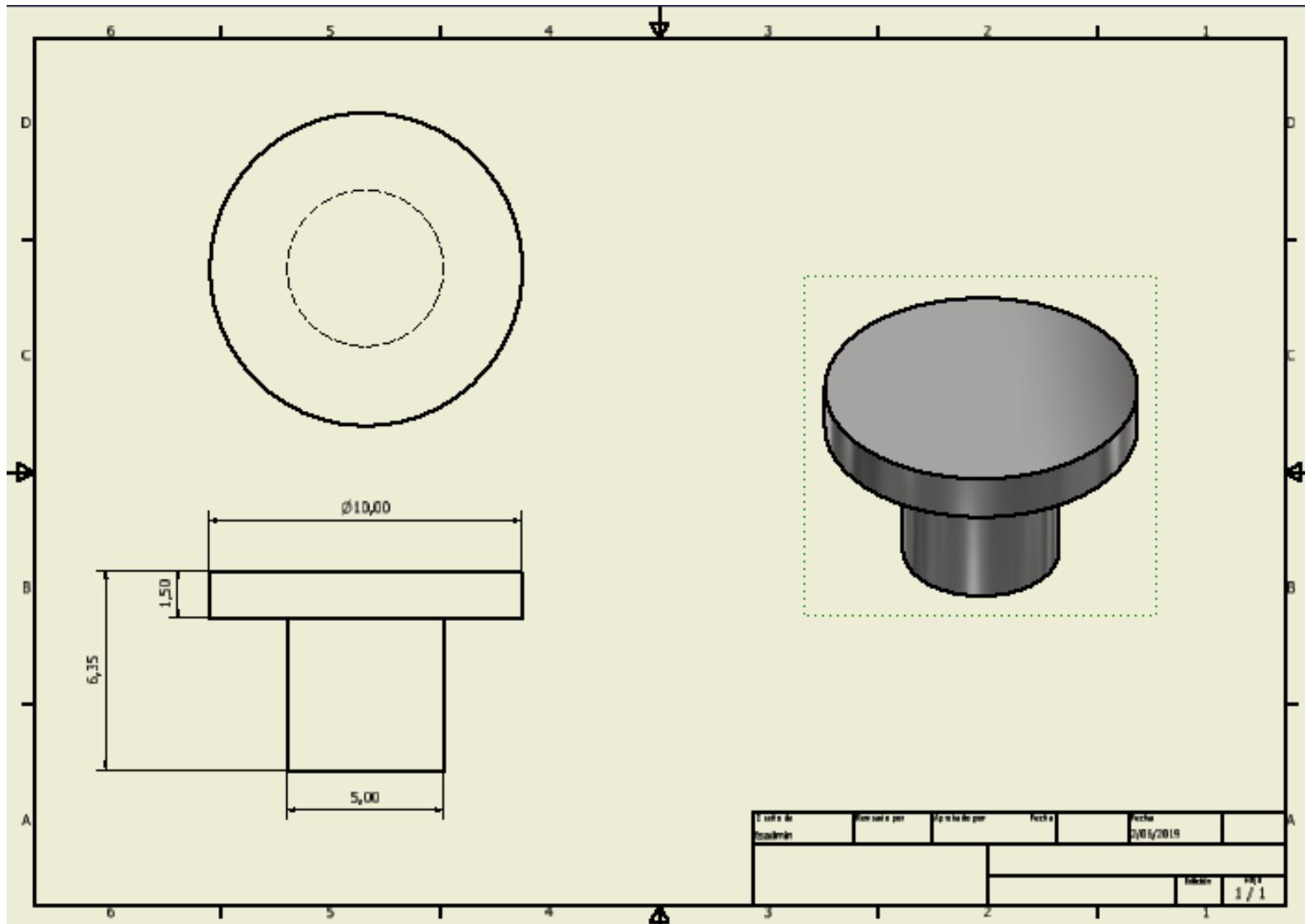
### 9.9 PLANOS

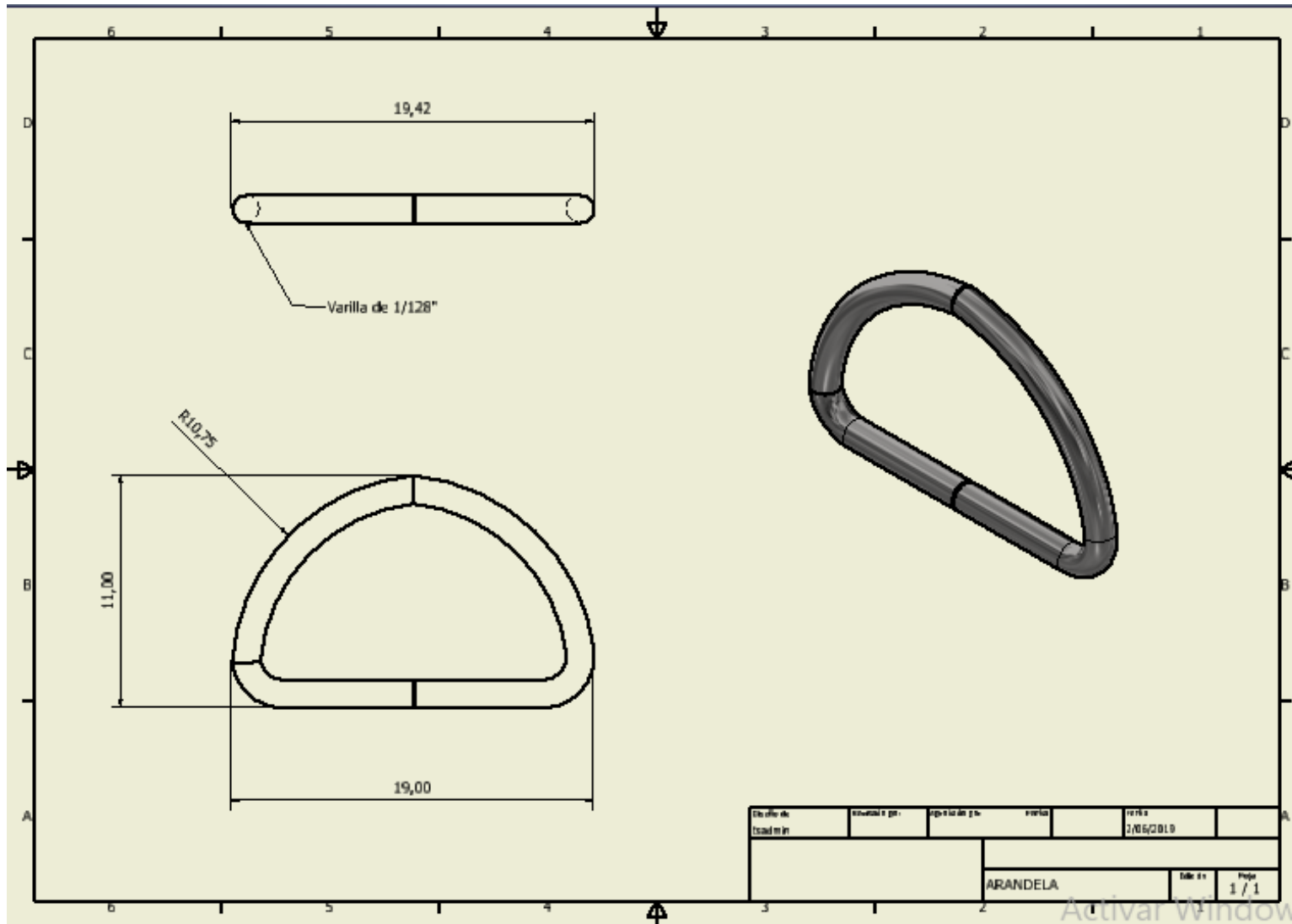


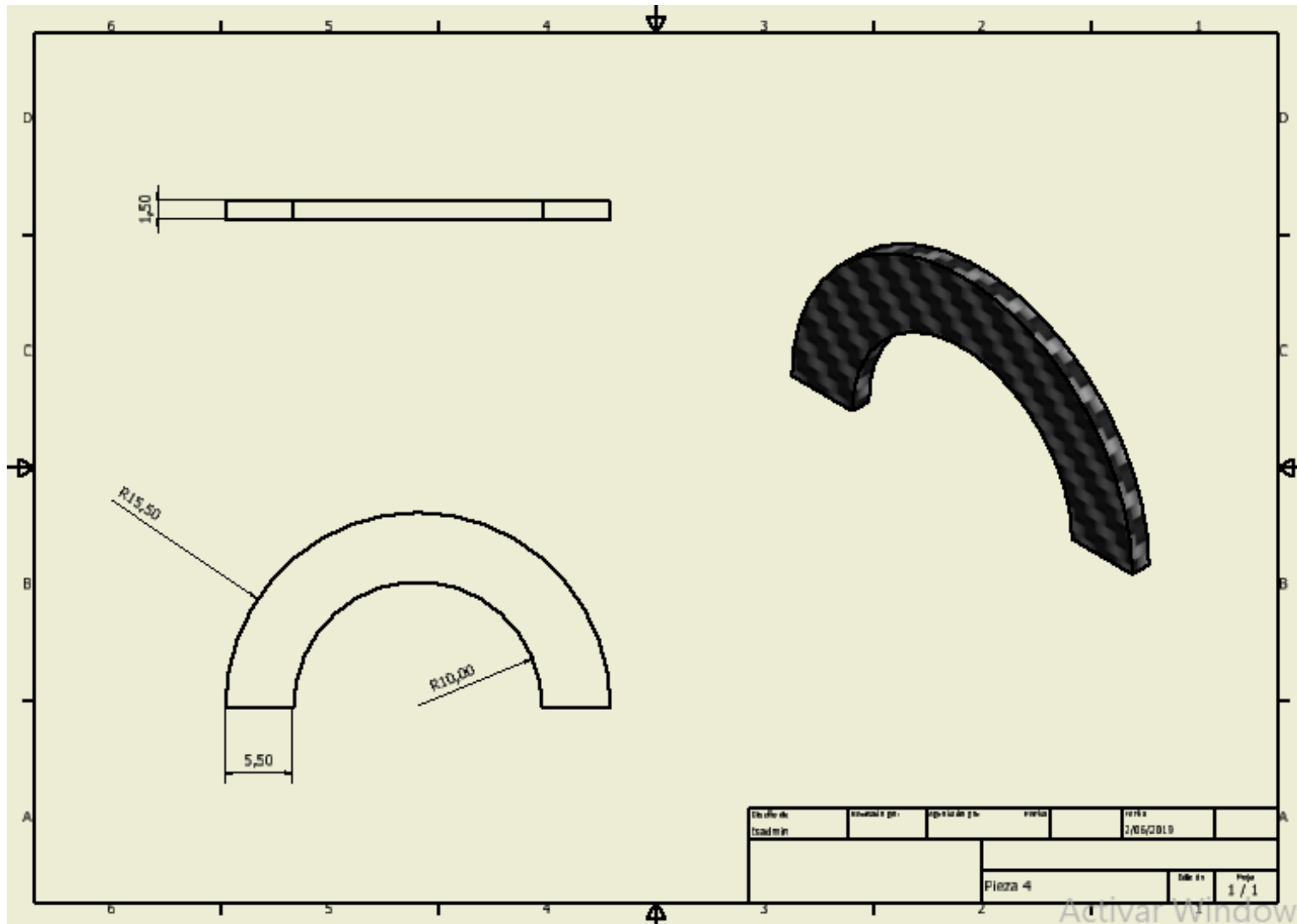


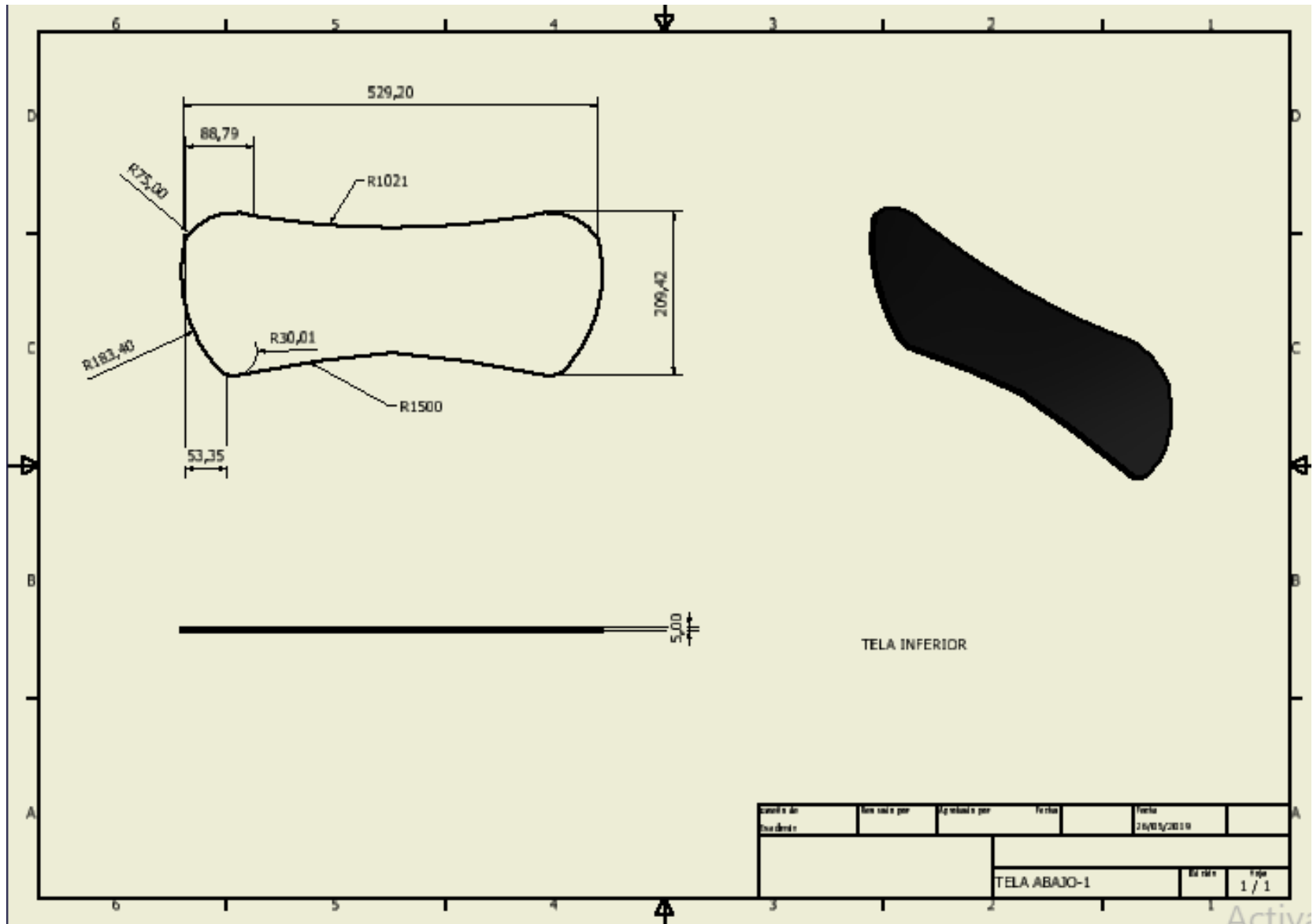


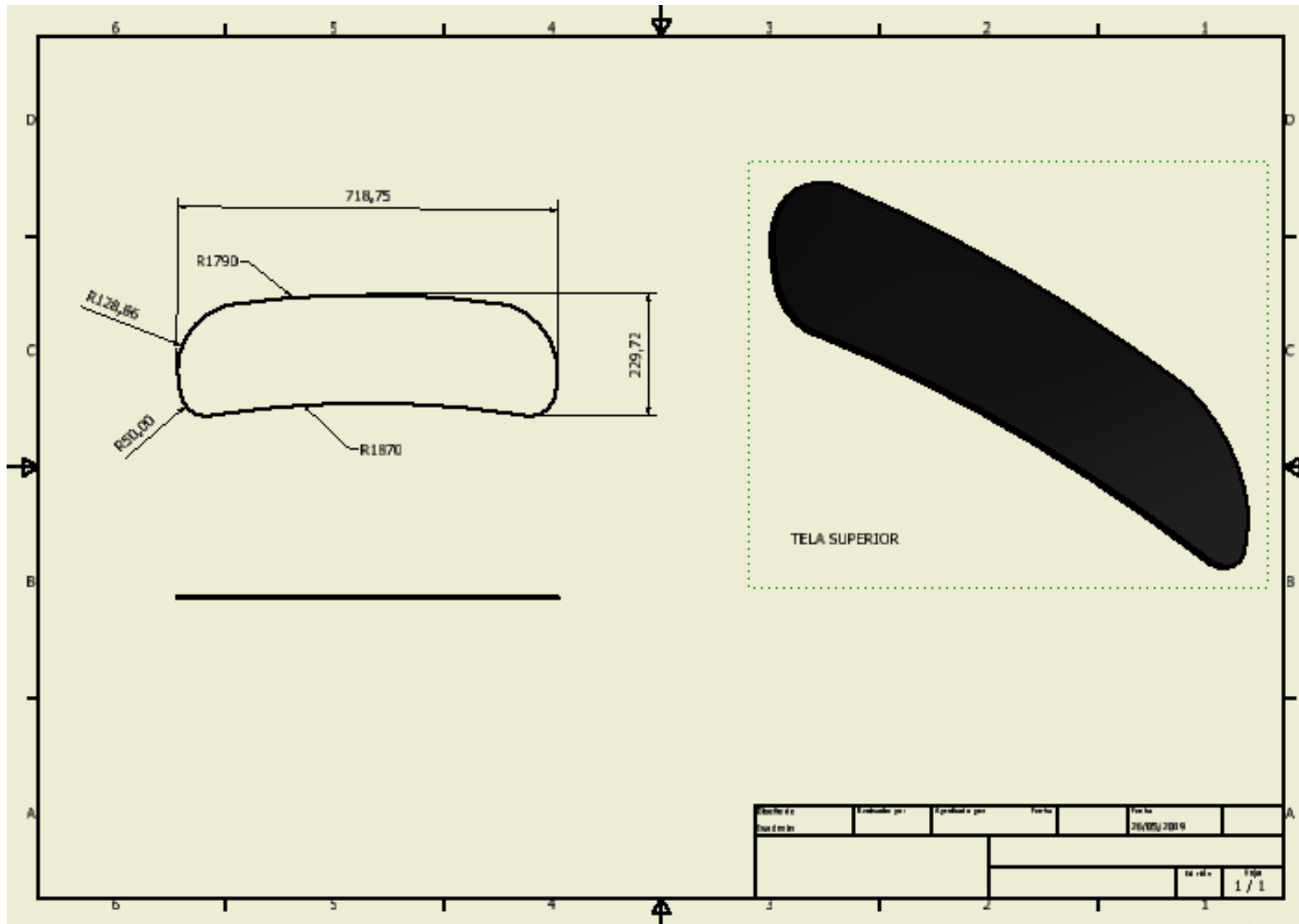















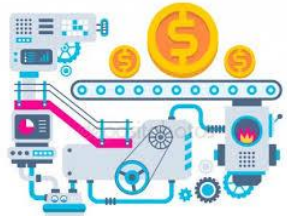




## 9.10 MODELO CANVAS

<p><b>Socios Clave</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alianza con empresas de manufacturas</li> <li>- Fabricantes de materiales</li> <li>- I + D</li> <li>- Socios capitalistas</li> <li>- Clínicas Ortopedistas</li> <li>- Tiendas ortopedistas</li> <li>- Operadores Logísticos</li> <li>- Convenios bancarios</li> <li>- Ortopedistas con experiencia en rehabilitación de rodillas</li> <li>- Especialista en ergonomía humana.</li> </ul>	<p><b>Actividades Clave</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Publicidad</li> <li>- Producción del producto bajo estándares de calidad</li> <li>- Mantenimiento de página web</li> <li>- Encuestas de experiencia</li> <li>- Rediseños según necesidades encontradas.</li> <li>- Patentar el producto</li> </ul>	<p><b>Propuesta de Valor</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de rehabilitación completo para el musculo afectado</li> <li>- Aumento de masa muscular</li> <li>- Mejora de confianza en la marcha después de la rehabilitación de LCA.</li> <li>- Producto único y novedoso en el mercado y en el sector de ortopédicos</li> </ul>	<p><b>Relación con Clientes</b> </p> <p>Nuestro usuario genera empatía con el producto, ya que este a su vez le genera confianza y seguridad al caminar.</p>	<p><b>Segmentos De Clientes</b> </p> <p>Persona entre los 20 y 40 años que practica algún deporte de alto contacto por hobby. Esta persona ha sufrido lesión de ligamento cruzado anterior y ha sido sometida a cirugía de reconstrucción y presenta pérdida de masa muscular en el musculo afectado.</p> <p>Clínicas donde se presta el servicio de terapias y rehabilitación</p>
<p><b>Estructura De Costos</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arriendo de local</li> <li>- Pago de nomina</li> <li>- Pago de contratistas y proveedores</li> <li>- inversión en I+D</li> </ul>		<p><b>Fuente De Ingresos</b> </p> <p>Venta del producto de manera directa o indirecta con el usuario</p> <p>Ingresos por explotación de la patente</p>		

Socios Clave



Actividades Clave



Recursos Clave



Propuesta de Valor



Relación con Clientes



Segmentos De Clientes



Canales



CLINICA DE FRACTURAS Y ORTOPEdia  
CENTRO CLINICO QUIRURGICO



Estructura De Costos



Fuente De Ingresos





## 9.11 Costos del producto

A continuación, se entrega una tabla de costos de cada uno de los elementos que necesita el dispositivo, vale la pena aclarar que algunos elementos ya se comercializan en el mercado, por tal motivo es más favorable buscar un lugar donde se puede hacer algún tipo de convenio si el volumen llegara a ser alto.

Costos Directos Sistema							
Pieza	Material Bruto	Valor Material	Valor pieza	Proceso de fabricacion	Valor del Proceso	Cantidad	total
Protector 1	Piel de durazno 1.mx1.50	\$ 5.000,00	\$ 480,00	Corte y cocido	120	1	\$ 600,00
Protector 2	Piel de durazno 1.mx1.50	\$ 5.000,00	\$ 400,00	Corte y cocido	\$ 100,00	1	\$ 500,00
Correas Ajustables	Velcro	\$ 12.000,00				4	\$ 48.000,00
Estructura	Lamina Cal 16 Acero 304 1.50m X 3m	\$ 280.000,00	\$ 25.000,00	Punzonado, soldadura, dobléz	\$ 22.500,00	4	\$ 190.000,00
TheraTubes	Color amarillo 1m	\$ 3.000,00				1	\$ 3.000,00
Botones		\$ 25,00				4	\$ 100,00
Arandelas		\$ 10,00				8	\$ 80,00
					Valor fabricacion		\$ 242.280,00

Este valor de producción es un estimado, ya que ciertas materias primas dependen del valor del dólar, lo que puede generar una variación del costo.

El valor comercial del producto es de \$350.000, esto generando un 44% de ganancia.

## 10. CONCLUSIONES

- Por medio del uso de REXO, se logró disminuir la dificultad que el paciente presentaba a la hora de realizar una marcha, ya que, con este producto, se estimuló adecuadamente los músculos adecuados para dicha actividad.
- Con el uso de REXO, se evidencio visualmente una mejora en la fuerza del musculo afectado con respecto a la estabilidad y la cojera que presentaba el paciente inicialmente-
- Se pudo validar la eficacia y eficiencia de REXO mediante el uso de este durante una semana en un paciente que sufrió reconstrucción de ligamento cruzado anterior, este ejercicio dio como resultado una mejora visual ante la marcha del paciente con respecto al día 0 y además, genero un testimonio favorable hacía el uso del mismo (VER ANEXO 11.5)

## **11. TRABAJOS FUTUROS**

Como mejoras se plantea la posibilidad de cambiar el material del protector, por uno que sea más fresco, que permita que la zona de contacto este más fresca al momento de la transpiración del usuario y que sea fácil de lavar.

También se debe buscar una forma de mejorar el sistema de tensión de los elásticos para poder graduar la fuerza que se requiera sin necesidad de estar haciendo un cambio de cada uno elásticos.

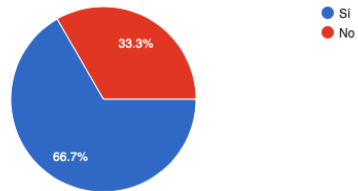
Se deberá explorar otros materiales que sean igualmente rígidos para la estructura para que a su vez sean livianos para disminuir el peso del producto.

## 12. ANEXOS

### 12.1 ANEXO 1 – ENCUESTA

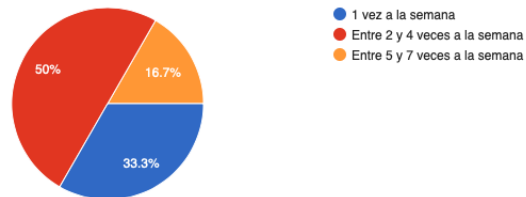
1 ¿Practica usted algún deporte?

6 responses



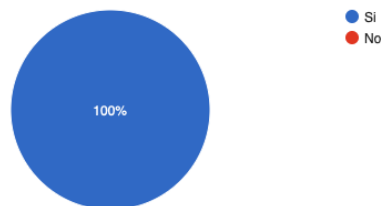
2 ¿Con qué frecuencia lo practica a la semana?

6 responses



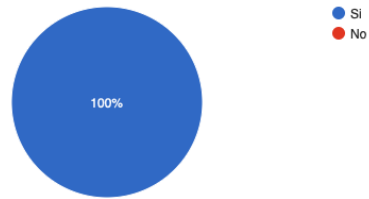
3 ¿Ha sufrido alguna lesión de rodilla grave por practicar dicho deporte?

6 responses



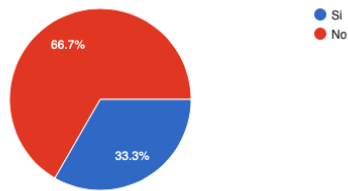
4 ¿Usted ha sido operado del ligamento cruzado anterior?

6 responses



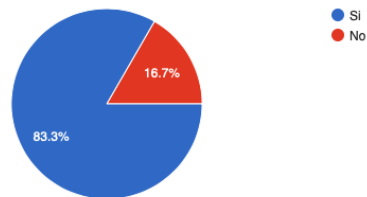
5 ¿Quedo satisfecho con su proceso de recuperación después de Reconstrucción del ligamento cruzado anterior?

6 responses



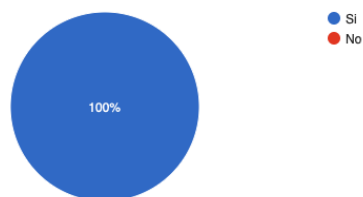
6 ¿Ha podido volver a hacer ejercicio después de la Reconstrucción del ligamento cruzado anterior?

6 responses



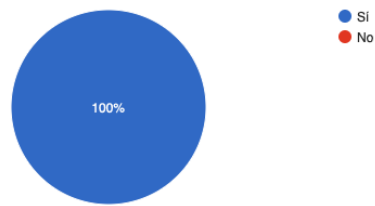
7 ¿Considera que se podría mejorar el plan de rehabilitación?

6 responses



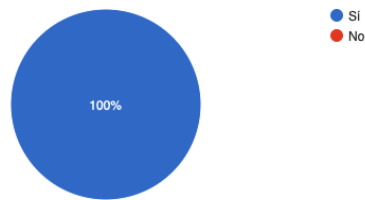
8 ¿Quedo con alguna molestia luego de la rehabilitación?

6 responses



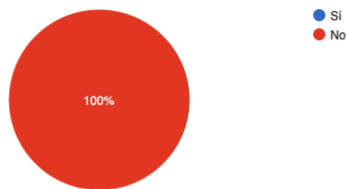
9 ¿Perdió mucha masa muscular después de la intervención quirúrgica?

6 responses



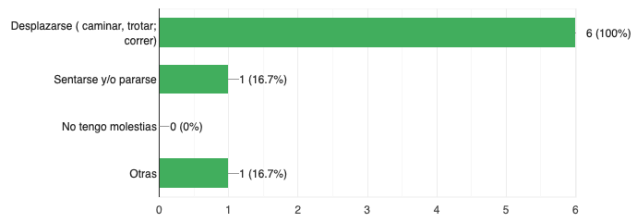
10 ¿Recupero usted el 100% de la masa muscular de su extremidad afectada en el proceso de recuperación?

6 responses



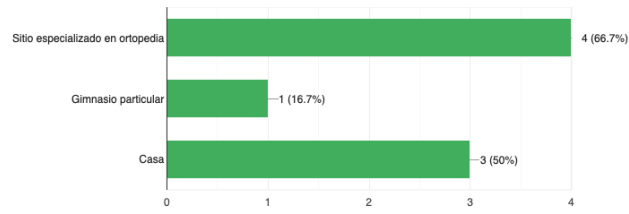
11 ¿Tiene alguna dificultad al realizar sus actividades diarias? ¿Cuál? (seleccione una o mas)

6 responses



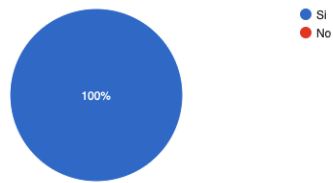
12 ¿ En qué sitio realizo usted su reacondicionamiento físico de la extremidad intervenida?

6 responses



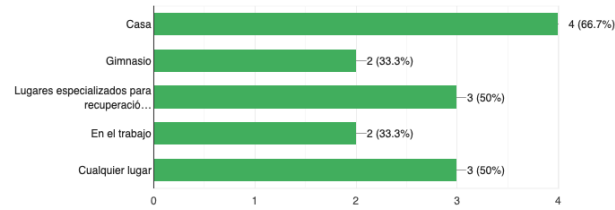
13 ¿Le gustaría que existiera un artefacto para ejercitar la pierna que fue intervenida durante su lesión de LCA?

6 responses



14 Le gustaría que el artefacto se pueda usar en lugares como (seleccione una o mas):

6 responses



## 12.2 PROTOTIPO INICIAL



Figura 1. Imagen tomada para validar prototipo





Figura 2. Imagen tomada para validar prototipo



Figura 3. Imagen tomada para validar prototipo

### 12.3 VALIDACIÓN DE PERCENTILES.



Figura 4. Imagen tomada para validar percentiles



Figura 5. Imagen tomada para validar percentiles



Figura 6. Imagen tomada para validar percentiles



## 12.4 PRODUCTO FINAL

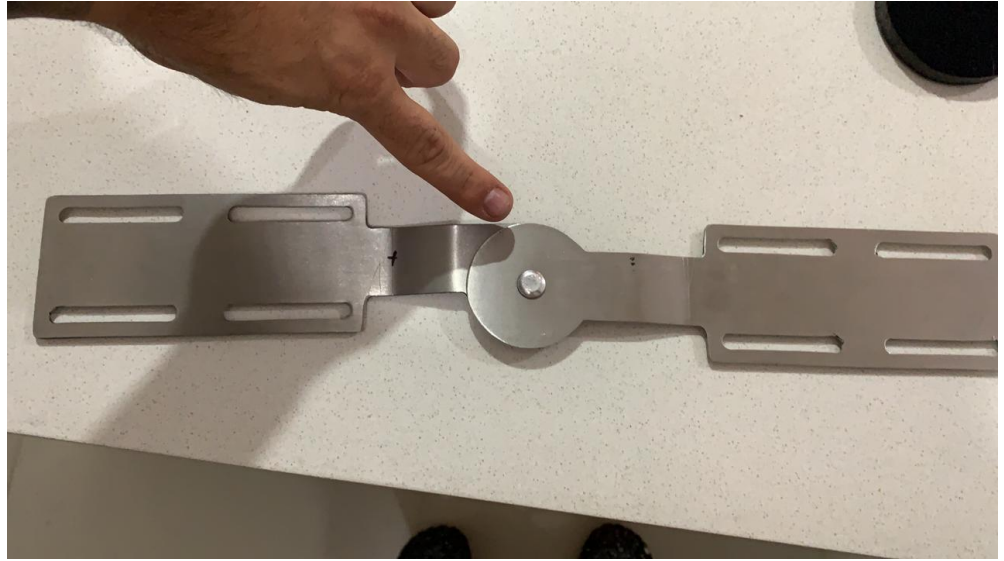


Figura 7. Imagen tomada del producto



Figura 8. Imagen tomada del producto



Figura 9 y 10. Imagen tomada del producto

## 12.5 VALIDACIÓN DE PRODUCTO



Figura 11. Imagen tomada del usuario con el producto



Figura 12. Imagen tomada del usuario con el producto

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Universidad de Zaragoza Facultad de Ciencias de la Salud Grado en Fisioterapia. (2014), 1–20.
- Antecedentes, R. (2016). Factores de riesgo y frecuencia de rerrupturas del ligamento cruzado anterior en adultos, *30*(2), 61–66.
- Del, R., Con, P., & Del, L. (2008). REVISIÓN LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR DE LA RODILLA ( LCA ). REVISIÓN PATIENT REHABILITATION WITH ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT ( ACL ) INJURIE OF THE KNEE ., *8*, 62–92.
- El, D., & Pdf, A. (2018). Esta publicación hace parte del Sistema de Revistas de la Universidad de Antioquia ¿ Quieres aprender a usar el Open Journal system ? Ingresa al Curso virtual Este sistema es administrado por el Programa Integración de Tecnologías a la Docencia Universida.
- Fútbol, A. D. E. (2014). Resultados da reconstrução do ligamento cruzado anterior em atletas amadores de futebol, *20*, 65–69.
- García Taibo, O. (2015). *Análisis funcional objetivo tras la cirugía de reconstrucción de ligamento cruzado anterior para la práctica deportiva y efecto de la fatiga en la función* (Vol. 3257).
- García, G. A., Olga, D. R. A., García, E. P., Antonio, Y. T. É. C., & Fornaris, M. (1998). Artrómetro de rodilla para lesiones de ligamentos cruzados ( constrúyalo usted ), (2), 81–83.
- Manuel, J., & Ibáñez, S. (2008). Reconstrucción del ligamento cruzado anterior ( LCA ). Fisioterapia acelerada en sobrecarga excéntrica.
- Manuel, J., & Ibáñez, S. (2009). Compra en la web nº1 de Fisioterapia RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO ( LCA ). FISIOTERAPIA ACELERADA CRUZADO ANTERIOR EN, (2001), 1–11.
- Personalizados, S., Analytics, S., Analytics, S., & Rafael, H. S. (2014). Acta ortopédica mexicana Lesiones del ligamento cruzado anterior Anterior cruciate ligament lesions.
- Plastia, C. O. N., Ligamento, D. E. L., Anterior, C., Adj, P., & Darío, L. (s/f). Universidad de la República Facultad de Medicina Escuela de Graduados.
- Reconstrucción, L. A., Lca, D. E. L., & Médico, A. D. C. (2015). FORÇA DOS MÚSCULOS DO QUADRIL DE ATLETAS PÓS-RECONSTRUÇÃO DO LCA STRENGTH of ATHLETES ' HIP MUSCLES AFTER ACL RECONSTRUCTION, *21*, 476–479.
- Rehabilitation, I., Anterior, A., & Ligament, C. (2005). REHABILITACIÓN ISOCINÉTICA TRAS LA RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR ( LCA ), 19–25.



- Reservado, E., Su, P., Permanente, P., Space, P., & Your, F. O. R. (2011). ORIGINAL PROPOSAL FOR FUNCTIONAL RECOVERY FROM RUPTURED ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT IN, *11*, 573–591.
- Reumatoide, A. (s/f). Evaluación y entrenamiento Isocinético en Rehabilitación Post-artroscópica de rodilla de paciente.
- Spanish, D. A., Revisi, C. D. E., Cited, I., Access, S., Jaime, J., Henry, W., & Am, L. (2009). Iatreia Lesiones del ligamento cruzado anterior de la rodilla Anterior cruciate ligament injuries.