



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE MECANOTERAPIA
AUTOMATIZADO PARA EL TRATAMIENTO DE LESIONES DE
RODILLA.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Johan Alberto Asencio Villamar
Melany Helen Escobar Cáceres
TUTOR: Ing.David Cortez Saravia.Msc

Guayaquil - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Johan Alberto Asencio Villamar** con documento de identificación N° **0920704657** y **Melany Helen Escobar Cáceres** con documento de identificación N° **0924768633**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Johan Alberto Asencio Villamar
0920704657



Melany Helen Escobar Cáceres
0924768633

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Johan Alberto Asencio Villamar** con documento de identificación N° **0920704657** y **Melany Helen Escobar Cáceres** con documento de identificación N° **0924768633**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE MECANOTERAPIA AUTOMATIZADO PARA EL TRATAMIENTO DE LESIONES DE RODILLA**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 19 septiembre del año 2022

Atentamente,



Johan Alberto Asencio Villamar
0920704657



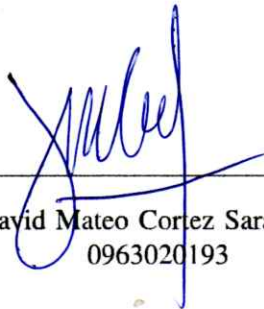
Melany Helen Escobar Cáceres
0924768633

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **David Mateo Cortez Saravia**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE MECANOTERAPIA AUTOMATIZADO PARA EL TRATAMIENTO DE LESIONES DE RODILLA**, realizado por **Johan Alberto Asencio Villamar** con documento de identificación N° **0920704657** y por **Melany Helen Escobar Cáceres** con documento de identificación N° **0924768633**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. David Mateo Cortez Saravia, M.Sc.
0963020193

I. DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

I-A. Dedicatoria y Agradecimiento Johan Asencio Villamar

Doy gracias a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de mi vida, por ser un apoyo y fortaleza en los momentos de dificultad y debilidad.

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este proyecto de investigación, sin embargo merecen reconocimiento especial mis padres: Alberto Asencio y Vilma Villamar, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado asimismo, agradezco inmensamente a mi Hermana que con sus palabras me hacen sentir orgulloso de lo que soy.

De igual forma agradezco a los docentes de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi carrera, de manera especial, al Ing. David Cortez Saravia tutor de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

I-B. Dedicatoria y Agradecimiento Melany Escobar Cáceres

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios, el cual me ha guiado a lo largo de este proceso. Agradezco a mis padres los cuales han sido mi apoyo para poder alcanzar mis metas y me han guiado para poder obtener mi formación profesional. A mi familia la cual a través de sus consejos y guía me han impulsado para seguir adelante y lograr mis objetivos. También quiero agradecer a mi Tutor de Proyecto de Titulación el Ing. David Cortez, el cual, con sus consejos y paciencia, nos ha ayudado a culminar este trabajo.

II. RESUMEN

El presente proyecto de titulación “Implementación de un equipo de mecanoterapia automatizado para el tratamiento de lesiones de rodilla” tiene como objetivo beneficiar a las personas con lesiones en la rodilla, las cuales necesiten terapia física para poder recuperarse en casa. Para esto se implementó un equipo que permite realizar la terapia física de la rodilla de manera autónoma, el cual podrá ser controlado utilizando una pantalla en el equipo o por medio de un control remoto que permite a la persona controlar el movimiento del equipo de rehabilitación por sí mismo. En el diseño del equipo se usó el programa SolidWorks, para generar el movimiento se usaron actuadores lineales, sensores y como controlador principal se utilizó una Raspberry.

Palabras clave: Actuador lineal, Raspberry, Sensores, SolidWorks.

III. ABSTRACT

This project “Implementation of an automated mechanotherapy equipment for the treatment of knee related injuries” aims to benefit people with such injuries, which need physical therapy to recover at home. For this purpose, a device was implemented that allows to perform the physical therapy of the knee in an autonomous way, which can be controlled through a screen in the device or through a remote control which will allow the person to control the movement of the rehabilitation device by him/herself. The SolidWorks software was used for the design of the equipment; linear actuators, sensors and a Raspberry as the main controller were used to generate the movement.

Keywords: Linear actuator, Raspberry, Sensors, Mechatronics, SolidWorks.

ÍNDICE

I.	Dedicatoria y agradecimiento	5
I-A.	Dedicatoria y Agradecimiento Johan Asencio Villamar	5
I-B.	Dedicatoria y Agradecimiento Melany Escobar Cáceres	5
II.	Resumen	1
III.	Abstract	1
IV.	Introducción	4
V.	Problema de estudio	4
VI.	Objetivos	5
VI-A.	Objetivos General	5
VI-B.	Objetivos Específicos	5
VII.	Marco Teórico	6
VII-A.	Rehabilitación física	6
VII-A1.	Fisioterapia	6
VII-A2.	Tipos de Fisioterapia	6
VII-A3.	Lesión Ligamento Cruzado Anterior	8
VII-B.	Programación y Control	8
VII-B1.	Equipo de control	8
VII-B2.	Pantalla Touch para Raspberry	8
VII-B3.	Programación en Python	9
VII-C.	Sistema interno de transmisión de movimiento	9
VII-C1.	Actuador lineal	10
VII-C2.	Función de un Actuador lineal	10
VII-C3.	Fuente de Alimentación	11
VII-C4.	Convertidor de poder	11
VII-C5.	Carga mecánica	11
VII-C6.	Dispositivo de control	11
VII-D.	Tipos de actuadores lineales	11
VII-D1.	Actuadores lineales electromecánicos	11
VII-D2.	Actuadores lineales hidráulicos	11
VII-D3.	Actuadores lineales neumáticos	12
VII-E.	Rodamientos	12
VII-F.	Tipos de Rodamientos	13
VII-F1.	Rodamientos de bolas	13
VII-F2.	Rodamientos de agujas	13
VII-F3.	Rodamientos de rodillos	14
VII-F4.	Rodamientos axiales	14
VII-G.	Sensor de posición lineal	15
VII-H.	SolidWorks	16
VII-I.	Impresora 3D	16
VII-I1.	Definición	16
VII-I2.	Tipos de Impresoras	16
VII-I3.	Material para impresoras 3D	16
VII-J.	Controladores	17

VII-K.	Relé	17
VII-L.	Soldaduras	17
	VII-L1. Soldadura de gas	18
	VII-L2. Soldadura con arco eléctrico	18
	VII-L3. Soldadura MMAW	18
	VII-L4. Soldadura MIG	18
	VII-L5. Soldadura TIG	19
VII-M.	Herramientas computarizadas	19
VIII.	Marco metodológico	21
VIII-A.	Metodología	21
VIII-B.	Diseño de la Investigación	21
VIII-C.	Enfoque de la investigación	21
VIII-D.	Pacientes	21
VIII-E.	Muestra y muestreo	21
VIII-F.	Técnicas de recolección de datos	22
VIII-G.	Instrumentos para la recolección de datos	22
VIII-H.	Determinar medidas y peso estándar de una pierna	22
VIII-I.	Diseño 3D - Modelo y Estudios de Diseño	22
	VIII-I1. Estudio de Frecuencia	22
	VIII-I2. Análisis estático	26
	VIII-I3. Diagrama de Conexiones	27
VIII-J.	Propuesta de diseño mecánico en el software SOLIDWORKS	28
VIII-K.	Diseño de la base	28
VIII-L.	Diseño de los tubos	28
VIII-M.	Diseño de acoples	29
VIII-N.	Acoples externos	29
VIII-Ñ.	Acoples de barras	30
VIII-O.	Acoples de cilindros	30
VIII-P.	Selección de materiales	31
VIII-Q.	Ficha Técnica del Acero Inoxidable 304	31
VIII-R.	Selección de mecanismo interno de movimiento	31
VIII-S.	Selección de sensores	33
VIII-T.	Selección de rodamientos	34
VIII-U.	Cálculos y Dimensiones	35
	VIII-U1. Selección del rodamiento	35
	VIII-U2. Selección de control para el equipo	36
VIII-V.	Equipo Legbot	37
IX.	Cronograma	38
X.	Presupuesto	39
XI.	Conclusiones	41
XII.	Recomendaciones	41
XIII.	Anexos	42

IV. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de titulación se ofrece una alternativa que se enfoca en el tratamiento de las lesiones en la rodilla en Ecuador, las cuales requieren de rehabilitación física la que comúnmente es realizada por un fisioterapeuta, o en otros casos por equipos mecánicos los cuales deben ser manejados por un especialistas para poder realizar la terapia, pero debido a sus elevados costos, acceder a este tipo de tratamientos es complicado para las personas que lo requieren. Con la finalidad de poder ofrecer una alternativa a esta problemática, se ha realizado el diseño de un equipo de rehabilitación física por medio del software SolidWorks, el cual nos ha permitido hacer un análisis mecánico a fin de poderlo implementar, y a través de un equipo de control poder realizar el movimiento necesario para la rehabilitación de la rodilla.

V. PROBLEMA DE ESTUDIO

La siguiente investigación se basa en el desarrollo de un sistema o equipo de mecanoterapia automatizado hacia pacientes con afectaciones de rodilla, a fin sobre el tema y su desarrollo hay que conocer las situaciones que causan dichas afectaciones, además los lugares que brindan un tratamiento como tal para una rehabilitación parcial o completa, recordando que “la rehabilitación física restablece funciones del cuerpo, que posiblemente, sin esta ayuda externa no volverían a desarrollarse.”[2].

La lesión o ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las más comunes a nivel mundial dado que un estimado de 1 de cada 3000 personas al año sufren una lesión o rotura, esta afectación provoca discapacidad mayormente a personas jóvenes y deportistas, debido a esto desarrollan predisposición a lesiones anteriores de la rodilla y a osteoartritis temprana.

Como respuesta a las afecciones físicas expuestas anteriormente, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) hizo hincapié en mejorar y fortalecer los sistemas de salud, poniendo en marcha la iniciativa Rehabilitación 2030, y de esta manera haciendo un llamado a las personas interesadas en mejorar el liderazgo de esta causa, ayudando a la estandarización en investigación de los progresos.

Vernaza y Álvarez (2011) En su artículo Producción científica latinoamericana ofrece estadísticas sobre los avances tecnológicos en esa área, el cual manifestó “La tendencia de producción científica por país refleja que Brasil lidera con el 70,1 % la producción científica de la fisioterapia / kinesiología en Latinoamérica, seguido de Chile con el 13,4 %, Colombia y Venezuela con el 6 %, Argentina con el 3,4 %, y con menos del 1 % de representatividad en producción se encuentran Cuba y Perú.” Siendo estos datos complementarios sobre la necesidad de este proyecto, donde se observa que en el Ecuador es casi nulo los índices de equipos que permiten la rehabilitación, esto genera un gran costo de estos equipos al momento de importarlos, lo que ocasiona valores de terapias muy elevados, y esto genera que los pacientes de escasos recursos no puedan costearse este tipo de tratamientos.

Dentro de los centros que brindan rehabilitación con equipos especializados se encuentra el Hospital “Eugenio Espejo”, el cual para sus terapias utiliza equipos semiautomatizados, lo que requiere de un especialista para su control, esto conlleva a la continua capacitación para el personal asignado en el control de los equipos, por este motivo los pacientes no recibirán sus terapias en tiempos específicos, dando como resultado que la rehabilitación no sea completa o que en algunos casos ya no sea posible, esto trayendo como consecuencias la pérdida total del movimiento en la extremidad afectada, deduciendo en afectaciones psicológicas.

El enfoque del desarrollo del proyecto propuesto sería para la recuperación y mejorar la amplitud de movimiento de la rodilla de 0° - 120° de inclinación posterior a un accidente, cirugía, enfermedad o lesión. “La rehabilitación puede ayudar a muchas funciones corporales, incluso problemas intestinales y vesicales, masticación y deglución, problemas de pensamiento o razonamiento, movimiento o movilidad, habla y lenguaje.”

En la Ciudad de Guayaquil, en el sector privado de salud el costo de una cita para rehabilitación física es entre \$ 40 a \$ 50, el cual es un costo al que no todas las personas pueden acceder de manera constante, ya que necesitan este tipo de terapias dura de entre 3 a 4 meses y la economía de su hogar no se los permite, a causa de esto siendo esta la principal razón porque las terapias físicas en su mayoría no suelen ser completadas.[3]

VI. OBJETIVOS

VI-A. *Objetivos General*

Desarrollar un equipo de tratamiento de mecanoterapia automatizado aplicado a lesiones de rodilla utilizando sistemas embebidos que pueda ser implementado en el hogar

VI-B. *Objetivos Específicos*

- Determinar el tipo de lesión más común y sus tratamientos mediante investigación bibliográfica y entrevistas a especialistas en el área.
- Elaborar un diseño mecatrónico para la construcción del equipo de mecanoterapias automatizado.
- Implementar el equipo de mecanoterapia automatizado que permita la utilización de este en el hogar.
- Validar el funcionamiento del prototipo mediante pruebas de funcionamiento.

VII. MARCO TEÓRICO

VII-A. Rehabilitación física

Es una disciplina encargada de curar y maximizar la recuperación de todas las habilidades motrices de una persona afectada por una lesión o enfermedad. Todo esto es para permitirle retomar sus actividades diarias y ser autónomo.

En otras palabras, cuando hablamos de rehabilitación física, nos referimos a todos los procedimientos que son para promover y lograr el nivel de independencia y capacidad física requerida por un individuo lesionado, enfermo o discapacitado.

VII-A1. Fisioterapia: Se define como la ciencia y el arte que, por un conjunto de métodos y técnicas, con una aplicación manual, instrumental y de medios físicos, recuperan, curan y adaptan a los pacientes afectados de disfunciones orgánicas, psicosomáticas y orgánicas, también como el método curativo a través de medios naturales, como gimnasia o masajes que utilicen medios mecánicos.

VII-A2. Tipos de Fisioterapia:

■ Electroterapia y ultrasonido

Estos como su nombre lo dice son como los sonidos, los cuales son ondas mecánicas sus frecuencias, aunque parecidas son más altas que la de los sonidos, más de 20000 Hertz, es decir a una frecuencia que nuestros oídos no pueden es El ultrasonido se puede usar dentro del cuerpo debido a su capacidad para penetrar los sistemas biológicos y liberar ondas (la profundidad es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda). Es una forma común de fisioterapia la cual utiliza ondas sonoras con frecuencias por encima de nuestro umbral auditivo. Se considera una forma de terapia mecano térmica, utilizando la penetración de ondas sonoras para lograr beneficios específicos. La eficacia de la terapia de ultrasonido se basa en la acción que se produce al realizar el masaje celular. La sustancia irradiada con ultrasonido vuelve a entrar en vibraciones, que disipan la energía y generan calor: se produce un efecto curativo.[7]

■ Termoterapia y crioterapia

La hipertermia es una terapia utilizada para aliviar el dolor de aquellas patologías que son “frías” o cuando queremos subir la temperatura, como problemas crónicos, daño muscular de larga duración, dolor muscular retardado (sensibilidad) o tendinitis crónica. . La crioterapia está indicada en procesos inflamatorios agudos, como esguinces de tobillo, desgarros musculares o tendinitis. Ahora existen dispositivos electrónicos que pueden realizar estos procedimientos de forma automática, olvidándose del hielo y/o calentar agua, y con el mismo dispositivo se puede pasar de frío a caliente sin moverse porque se puede programar según la patología. Los tratamientos proporcionan solo calor, solo frío o una combinación de ambos.[7]

■ Hidroterapia

Es un tratamiento que se utiliza con agua para tratar cierto tipo de afecciones, ya sea como preparación física para la cirugía o como un tipo de rehabilitación después de la cirugía. La rehabilitación acuática se convirtió en un programa de rehabilitación ortopédica, pero es muy popular entre médicos y pacientes. En comparación con otros grupos de rehabilitación, como en el gimnasio, la rehabilitación de tipo acuática brinda un mejor movimiento del cuerpo y permite a los pacientes realizar movimientos más desafiantes, como ejercicios los cuales sean de resistencia, o para fortalecer las articulaciones y los huesos, y mejorar el tono muscular, la postura del cuerpo y el equilibrio del mismo.[7]

■ Mecanoterapia y presoterapia

Es una disciplina que forma parte de los tipos de fisioterapia y se puede dar a entender como el arte o la ciencia de tratar diversas lesiones o trastornos con dispositivos mecánicos como ruedas, paradas de manos, pedales, poleas y pesas y dispositivos de tracción. Diseñado para estimular y guiar los movimientos corporales en función de la intensidad, amplitud y trayectoria. Lo más importante es que la terapia mecánica se utiliza para rehabilitar a los heridos y enfermos.

Aunque no tiene muchas contraindicaciones, siempre debe ser prescrito por un médico y planificado por un fisioterapeuta para que el tratamiento sea realmente efectivo. Este profesional será el responsable de enseñar y

supervisar los ejercicios del paciente y evaluar la evolución en el tiempo. Las únicas contraindicaciones posibles son la falta de cooperación o incapacidad para detallar mentalmente los movimientos, las fracturas recientes o la rigidez. La mecanoterapia se ha utilizado en el mundo antiguo y se ha desarrollado, especialmente en Suecia a principios del siglo XX, gracias en gran parte a Gustav Zander. El equipo utilizado en ese momento era mucho más complejo y costoso. Hoy en día, son más sencillos y prácticos para resolver los problemas de movimiento más activos, ya sean segmentarios o regionales.[7]

El objetivo de la terapia mecánica es aumentar o incluso disminuir la resistencia para permitir movimientos pasivos o auto pasivos. En cualquier caso, no debemos olvidar que se trata de un tratamiento adicional, no de un tratamiento definitivo. Especialmente útil para pacientes con artrosis, gota, problemas musculares y rotura de fibras, pero no recomendado para fracturas traumáticas.[7]

- Magnetoterapia y fototerapia

Es una práctica de fisioterapia la cual utiliza campos magnéticos los cuales pueden ser estáticos o pueden ser permanentes sobre el cuerpo. Según la patología a poder tratar, se utilizan varios tipos de imanes de alta o baja frecuencia para su aplicación. Es particularmente eficaz en el tratamiento de algunos síntomas dolorosos causados por la inflamación, aunque puede usarse para tratar muchas afecciones debido a algunos efectos secundarios.[7]

Sin embargo, esta técnica no es adecuada para pacientes con marcapasos, pacientes que tienen cáncer o que se encuentran embarazadas, y el campo magnético aplicado no debe afectar al corazón. Este procedimiento se utiliza principalmente para tratar trastornos del sistema músculo esquelético, ya que se ha demostrado que el campo fisiológico que activa en el cuerpo tiene un fuerte efecto regenerador. Aunque también se utiliza para patologías como descalcificación, espondilitis, artrosis, dolor de vaina tendinosa, tendinitis, contracturas, hematomas, dolor de espalda, patologías que provocan inflamación y cicatrización de tejidos.[7]

VII-A3. Lesión Ligamento Cruzado Anterior: Esta se trata de un esguince o desgarramiento de dicho ligamento, siendo este una de las fuertes bandas de tejido que ayudan a que el fémur (hueso del muslo) se conecte con la tibia.

Estas lesiones se producen de manera más común durante la práctica de algún deporte que implique tener que modificar la dirección de manera inesperada, saltar, aterrizar y detenerse, como el fútbol, basquetbol entre otros.

Dependiendo de la gravedad de este tipo de lesiones de LCA, en sus tratamientos podemos introducir ejercicios los cuales pueden ser de descanso o de tipo de rehabilitación, de esta forma el paciente puede recuperar la estabilidad y su fuerza, o en casos más graves se necesitaría una cirugía la cual serviría para reemplazar el LCA que se encuentra desgarrado, y después de esto el paciente debe ser tratado con rehabilitación.

El tratamiento de una lesión del LCA dependerá de la edad del paciente, las actividades que realice, el grado de inestabilidad y la asociación con otras patologías que padezca. En la fisioterapia después de la reconstrucción de ligamentos, el objetivo principal es restaurar la estabilidad articular con los siguientes medicamentos:

- Electroterapia.
- Termoterapia.
- Crioterapia.
- Mecanoterapia.
- Hidroterapia.

Determinando la mecanoterapia como rehabilitación para este tipo de afectaciones y los ejercicios de estiramiento y fortalecimiento como base para una completa recuperación el dispositivo que se desarrolló cumple con los requisitos para poder brindar una manera autónoma de rehabilitación ya sea para pacientes en casa que lo usen para una recuperación en corto plazo o para el personal médico que de esta manera podría brindar atención a más pacientes dentro del mismo tiempo.

VII-B. Programación y Control

Elementos que se usarán para la programación y posterior control del equipo

VII-B1. Equipo de control: La Raspberry Pi se usa para acercar la informática a todos, puedes usarla para realizar las tareas más comunes de una computadora, pero por un valor aproximado \$135, con uno de estos tipos de tarjetas y un sistema de tipo Raspbian, navegar, consultar correos electrónicos, también se pueden reproducir videos, utilizar aplicaciones los cuales pueden funcionar de mensajería instantánea, etc. Todo en un tamaño muy reducido ya un coste muy inferior al de cualquier otro ordenador de sobremesa.

El modelo Pi 3 de la raspberry usado en el equipo es el Modelo B siendo este un producto de alta gama que cuenta con un procesador quad-core de 64 bits con 1.4 GHz, red inalámbrica de banda dual 2.4/5GHz, bluetooth y un ethernet más rápido.

VII-B2. Pantalla Touch para Raspberry: Este tipo de pantalla permite u ofrece la posibilidad de que al elaborar nuestros proyectos estos sean interactivos. La resolución de la pantalla es de 800 x 480, y el sistema de esta pantalla es tan interactivo que permite que no tenga la necesidad de utilizar ni teclado ni ratón, debido a que su software es capaz de soportar perfectamente un teclado virtual en su pantalla.



Figura 1. Raspberry



Figura 2. Pantalla touch raspberry[4]

VII-B3. Programación en Python: Este es un tipo de lenguaje de programación el cual es de alto nivel se utiliza normalmente para desarrollar aplicaciones. Este es un lenguaje interpretado, a esto se refiere que no puede ser compilado para ejecutar como aplicaciones escritas en el programa Python, a su diferencia este se ejecuta de manera directa en una computadora por medio de un tipo de programa el cual funciona de intérprete, lo que significa que no hay que traducirlo a un tipo de lenguaje especial que entienda la máquina.

```
quicksort.py x
20 def particion_random(array, left, right, compare):
21     pivot = left + math.floor(random.random() * (right - left))
22
23     if pivot != right:
24         array[right], array[pivot] = array[pivot], array[right]
25
26     return particion_right(array, left, right, compare)
27
28 def particion_right(array, left, right, compare):
29     pivot = array[right]
30     mid = left
31
```

Figura 3. Lenguaje python,[6]

VII-C. Sistema interno de transmisión de movimiento

El movimiento interno consta de un actuador lineal, dos rodamientos, un sensor de desplazamiento, una batería de 12V, y un controlador de actuadores lineales el cual controlara el desplazamiento del actuador lineal, según la longitud de movimiento que disponga el paciente.

VII-C1. *Actuador lineal*: Es un dispositivo el cual se encarga de convertir el movimiento giratorio de un motor en un movimiento lineal. Dichos actuadores lineales suelen ser ideales para diferentes tipos de aplicaciones que requieran movimientos de tipo inclinación, tracción o empuje. Dependiendo del tipo de actuador lineal y la aplicación que se desee en el sistema, sus movimientos pueden ser precisos o bruscos. Normalmente suelen ser usados en proyectos de automatización o en sistemas de uso diario.



Figura 4. Actuador lineal

VII-C2. *Función de un Actuador lineal*: Para poder funcionar, este requiere de una fuente de alimentación, una señal emitida para su apertura o cierre.

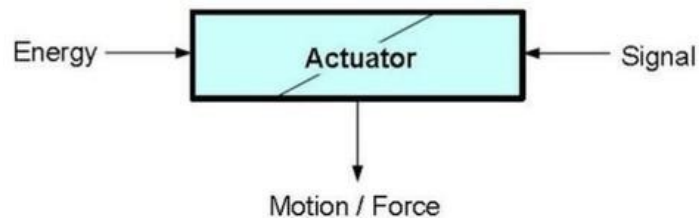


Figura 5. Funcionamiento actuador lineal

VII-C3. Fuente de Alimentación: Para poder funcionar el actuador lineal debe tomar la energía de una fuente y así la convierte en la forma de movimiento lineal, dependiendo del tipo de actuador su potencia puede ser eléctrica, mecánica o fluida.

VII-C4. Convertidor de poder: Usualmente se usan los inversores eléctricos para convertir la potencia que se obtenga de la fuente de alimentación al modo en que esta pueda ser usada por el actuador, lo cual dependerá de los requisitos de diseño del mismo.

VII-C5. Carga mecánica: Con esto se refiere al trabajo o a la carga exterior que deberá realizar al actuador lineal.

VII-C6. Dispositivo de control: Son usados para controlar el movimiento del actuador de expansión y restricción, esto se suele controlar mediante interruptores o controladores.

VII-D. Tipos de actuadores lineales

Tienen un movimiento giratorio como entrada, el cual se activa mediante el uso de un accionador como manija o perilla de control, y lo convierten en un movimiento lineal. El cual se transforma usualmente mediante tornillos de avance, para funcionar requieren de intervención manual, no funcionan con fuentes de alimentación, además su movimiento puede ser repetible por periodos prolongados de tiempo sin causar desgaste.



Figura 6. Actuador lineal

VII-D1. Actuadores lineales electromecánicos: Este actuador funciona de modo que un motor eléctrico hace girar el conjunto del engranaje de entrada, el cual se encuentra conectado a un tornillo de avance y de este modo se realiza el movimiento lineal en la salida. Son los que mayormente se usan en sistemas de automatización, y su funcionamiento es el mismo de extender y retraer, brindado una buena precisión al sistema.[10]

VII-D2. Actuadores lineales hidráulicos: Usan dos cilindros los cuales tienen un pistón en uno de ellos, además funcionan según la ley de Pascal. Al aplicar una fuerza al líquido en uno de los cilindros, se ejerce a su vez con la misma cantidad que el segundo cilindro y así la carga se mueve o se levanta. Dan precisión al sistema debido a que los líquidos suelen ser casi incompresibles. Proporcionan una fuerza muy alta a diferencia de los actuadores lineales electromecánicos[10]

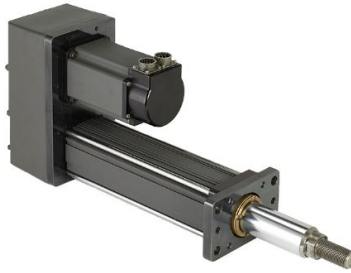


Figura 7. Actuador lineal electromecánico



Figura 8. Actuador lineal hidráulico

VII-D3. Actuadores lineales neumáticos: Su entrada se basa simplemente en aire comprimido, lo cual lo hace preferible respecto a los otros, y suele ser usado en industrias mecánicas, aunque no puede levantar cargas tan pesadas y es susceptible a fugas.[10]



Figura 9. Actuador lineal neumático

VII-E. Rodamientos

Los rodamientos nos sirven para soportar y guiar elementos giratorios en los sistemas mecánicos, como ejes o ruedas. Estos al ofrecer una buena precisión y una fricción baja reducen el ruido que se puede generar a velocidades elevadas, reduciendo también el consumo de energía y el desgaste mecánico. Sus funciones principales se basan en transferir movimiento y transferir fuerzas.[8]



Figura 10. Rodamientos

VII-F. Tipos de Rodamientos

VII-F1. Rodamientos de bolas: Este tipo de rodamientos se encuentra compuesto por cuatro partes, las cuales son el anillo exterior, el anillo interior, las bolas y el separador, funcionan de tal manera que las bolas corren en muecas construidas en los anillos, compuesto así para permitir aumentar el área de contacto y permitir favorecer la resistencia al transmitir mayores cargas. Dichos rodamientos tienen los beneficios de poder trabajar a altas velocidades, no requieren mucho mantenimiento, permiten aumentar la capacidad de carga radial y su capacidad axial es baja.[8]

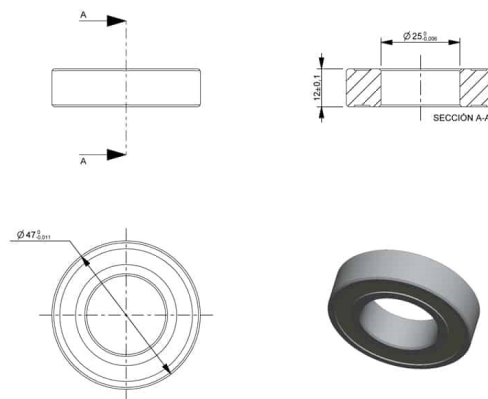


Figura 11. Acotación

Existen diferentes tipos de rodamientos de bolas:

- Rodamientos axiales
- Rodamientos de contacto angular
- Rodamientos rígidos de bolas
- Rodamientos de bolas autoalineables
- rodamientos de bolas de contacto angular de alta velocidad

VII-F2. Rodamientos de agujas: Este rodamiento cuenta con rodillos cilíndricos, los cuales son finos y largos en su plano diametral, suelen ser usados usualmente en aplicaciones donde es limitado el espacio radialmente, suelen ser la mejor opción cuando en la transmisión se requiere tener una capacidad en la cual la carga radial sea elevada.[8]

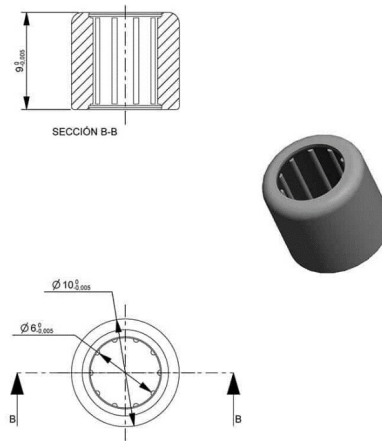


Figura 12. Acotación rodamiento de agujas

VII-F3. Rodamientos de rodillos: Están compuestos por una hilera de rodillos cilíndricos enjaulados los cuales se encuentran entre anillos interiores y exteriores macizos y las coronas de rodillos cilíndricos, se evita que los rodillos cilíndricos entren en contacto con la jaula. Dichos rodamientos soportan muy elevadas cargas radiales, también son adecuados para trabajar en elevadas velocidades de giro y son fáciles al momento de montar y desmontar, suelen ser rodamientos libres, es decir apoyo o fijos.[8]

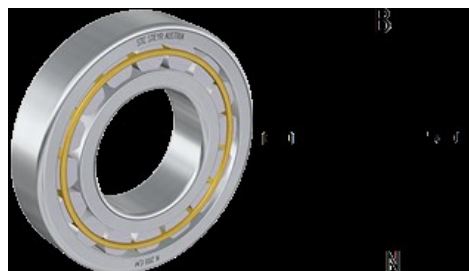


Figura 13. Acotación rodamiento de rodillos

VII-F4. Rodamientos axiales: Estos rodamientos se usan cuando nuestro trabajo está sometido a importantes cargas axiales, no se pueden trabajar con las cargas radiales. Su funcionamiento consiste en dividir la carga en tipos de dirección el simple es decir de un modo acomodan la carga axial en un solo sentido y el doble que se basa en acomodar la carga axial en ambos sentidos.[8]



Figura 14. Rodamiento axial

VII-G. *Sensor de posición lineal*

Este tipo de sensores son usados para poder detectar la posición en la que se encuentra un elemento móvil a lo largo de su recorrido o también pueden ser usados para medir separaciones o distancias. Se pueden encontrar en diferentes rangos de medidas entre los 10mm a los 4250mm, depende del modelo y marca. Suelen ser muy usados debido a que su linealidad de respuesta es excelente y cuentan con resoluciones de hasta $1\mu\text{m}$ y su tiempo de vida estimado es de hasta 23 años, lo cual le permite trabajar un gran número de ciclos. Sus tipos de salidas de señal son variados, entre las más comunes se encuentran los dispositivos radiométricos, las señales analógicas y los modelos con salidas en formatos digitales. Además, también están los distintos formatos mecánicos o distintas tecnologías con o sin contacto, dependiendo a la aplicación que deba adaptarse.



Figura 15. Sensor de posición lineal

VII-H. SolidWorks

■ Definición

”SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp. para el sistema operativo Microsoft Windows. Es un modelador de sólidos paramétrico. Fue introducido en el mercado en 1995”(EISBERG. Lerner, 2010. P. 67).

“El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, “construyendo virtualmente”la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada”(MELISSINOS. Lobkowicz, 2010. P. 142).

VII-I. Impresora 3D

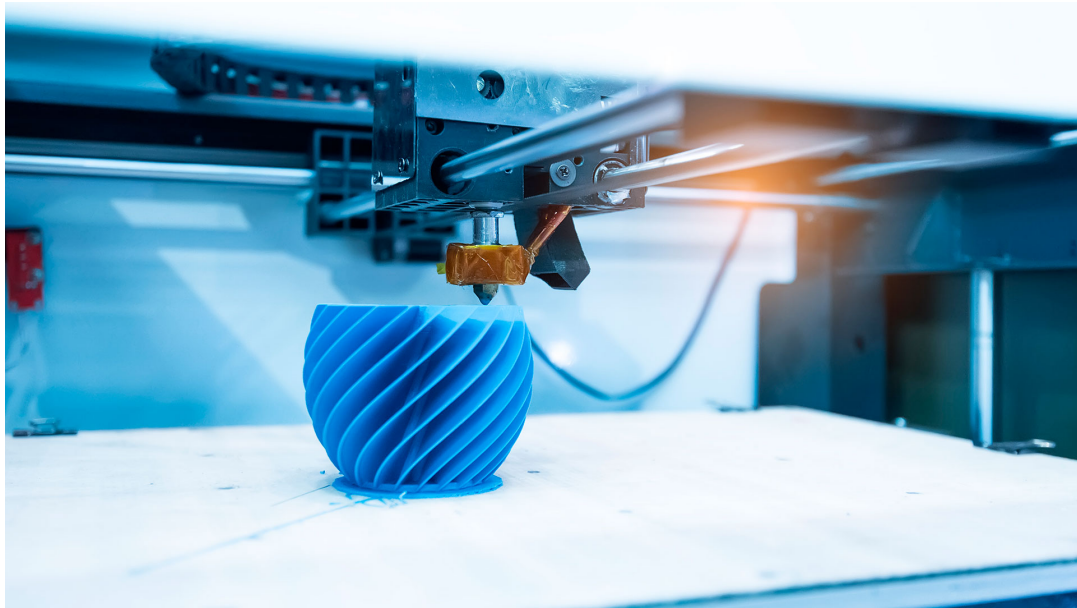


Figura 16. Impresora 3D

VII-I1. Definición: Una impresora 3D es una equipo capaz de imprimir grandes cantidades de gráficos a partir de diseños generados por computadora.

Dichas impresoras generan un diseño 3D el cual fue creado en una computadora y se lo establece de manera física.

VII-I2. Tipos de Impresoras:

- Adición de polímeros o FDM
- Por láser
- SLS

VII-I3. Material para impresoras 3D:

- ABS (acrilonitrilo butadieno estireno): es un tipo de plástico el cual es muy tenaz, fuerte y rígido.
- PLA: se obtiene de materiales naturales pueden ser el almidón de maíz o también la caña del azúcar. Pueden ser biodegradables y estos no generan gases tóxicos.
- Laybrick: Se lo obtiene de una mezcla en la cual se fusionan yeso y plástico.
- Filaflex: es de gran elasticidad, debido a que está compuesto por una base de poliuretano y además otros aditivos, lo que lo hace ser un filamento elástico. Normalmente son usados para prótesis, carcasas para móviles, entre otros.

VII-J. Controladores

Estos son dispositivos que procesan las señales de entrada y salida, para que el sistema realice las funciones determinadas correspondientes al equipo que se está deseando controlar. Ejecutan y almacenan los programas de control.

- Controlador para actuadores lineales

Este tipo de controladores está compuesto por un módulo relé, se usa para aplicaciones que requieran invertir el movimiento. El objetivo de estos controladores es poder controlar la rotación positiva y negativa del motor de corriente continua debido a que estos son los que generalmente se usan en actuadores lineales.



Figura 17. Controlador Eco-worthy

VII-K. Relé

Es un conmutador eléctrico el cual autoriza el paso de energía eléctrica cuando se encuentra cerrado y al estar abierto la interrumpe, los relés no se pueden accionar manualmente, solo eléctricamente. Este compuesto por una bobina, la cual al activarse genera un campo electromagnético, el cual hace que el enlace del relé se cierre y pase la corriente para un circuito, cuando se deja de pasar corriente el relé se abrirá, y también se deja sin corriente al circuito eléctrico.[1]

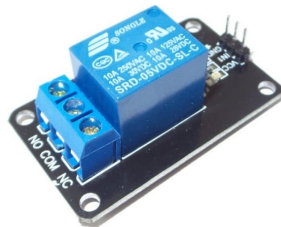


Figura 18. Relé

VII-L. Soldaduras

Es la unión o enlace de piezas por medio de calor y/o compresión así las piezas pueden formar un continuo. Existen varios tipos de soldadura como la del arco. La fusión de piezas de trabajo puede ocurrir en función del calor generado por el arco solo, lo que provoca la fusión de las soldaduras. Por ejemplo, este método se puede utilizar para soldadura TIG. Sin embargo, el metal de aporte generalmente se funde en la soldadura utilizando una pistola de alimentación de alambre (soldadura MIG/MAG) o electrodos de alimentación de alambre portátiles. En este caso, el metal de aporte debe tener aproximadamente el mismo punto de fusión que el material de soldadura.[9]

VII-L1. *Soldadura de gas:* Para esta técnica de soldadura nos basaremos en la combustión del acetileno, que puede producir llamas de hasta 3200°C. Este tipo también incluye varios tipos de soldaduras que funcionan a temperaturas mucho más bajas como lo es la soldadura blanda, esta requiere de un soplete el cual usa un gas líquido. Esta es perfecta si se necesita reparar tuberías domésticas, así que usualmente es usada en la fontanería. Una de sus ventajas es que es de bajo costo, más una de sus desventajas más notables es que tardan mucho en secarse.[9]

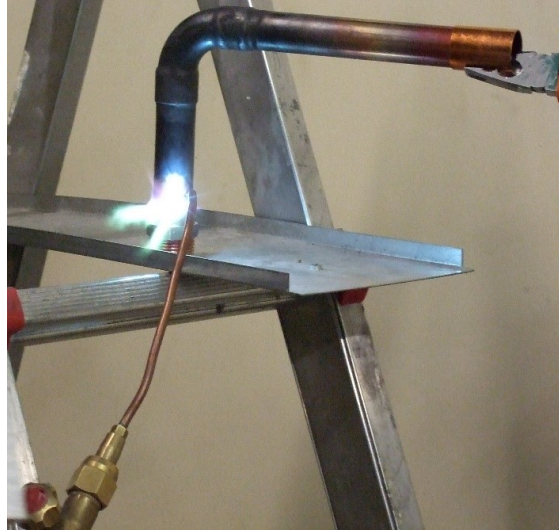


Figura 19. Soldadura de gas

VII-L2. *Soldadura con arco eléctrico:* Estos tipos de soldadura, ya sea AC o DC (algunas características varían, pero en esencia son las mismas soldaduras), requieren de una fuente de energía eléctrica capaz de fundir el metal y así unir aquellos dispuestos a trabajar. Estas soldaduras son muy utilizadas en acero: acero inoxidable, acero de baja aleación o al carbono. También se utiliza en aleaciones a base de níquel y aplicaciones de superficie.[9]

VII-L3. *Soldadura MMAW:* Su nombre proviene de su abreviatura en inglés (Metal Manual Arc Welding), que también puede denominarse soldadura manual por arco metálico. Los electrodos que se utilizan para este tipo de soldadura son de acero porque están recubiertos de un material que al fundirse por el calor del soldador forma un escudo de dióxido de carbono que impide el paso del oxígeno y por tanto no produce escoria. Cuando el acero del núcleo del electrodo se derrite, el metal se sella. La técnica es muy sencilla y el soldador es fácil de usar, por lo que se puede utilizar a la hora de realizar tareas domésticas.[9]

VII-L4. *Soldadura MIG:* Este tipo de soldadura, denominada MIG (metal inert gas), es muy similar a la MMAW. Sin embargo, consume una determinada receta de gas y, aunque también previene la escoria, se presenta en una forma diferente. El equipo de soldadura suele ser un poco complicado y este proceso no debe realizarse al aire libre, ya que requiere el uso de gas. También requieren un equipo de seguridad más sofisticado que otras soldaduras. A menudo se usa para más metales que antes y para tareas más complejas.[9]



Figura 20. soldadura MMAW

VII-L5. Soldadura TIG: Este es uno de los tipos de soldadura más utilizados para trabajos delicados como la unión de metales finos. Esta técnica se llama TIG porque utiliza gas noble de tungsteno. Estas puntadas son muy difíciles y lentas de realizar, por lo que están más orientadas a profesionales que necesitan realizar con mucha precisión.[9]

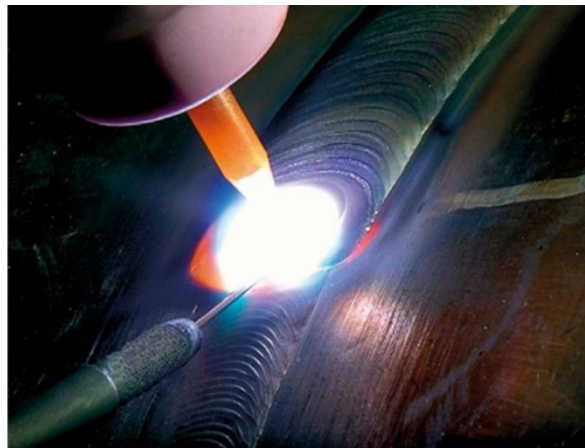


Figura 21. Soldadura TIG

VII-M. Herramientas computarizadas

- **Definición:** “Una herramienta es un objeto elaborado a para mejorar la práctica de una tarea mecánica que requiere una aplicación correcta de energía. Tomando como energía a la capacidad de realizar tareas repetitivas y complejas”(BURBANO, Gracia, 2010. P. 39).

“Una herramienta computarizada es una aplicación de la computación para facilitar procedimientos que aumentan la capacidad de hacer ciertas tareas repetitivas y complejas”(GETTYS. Keller, 2010. P. 72)

Podemos decir que las herramientas informáticas en el campo del diseño mecánico pueden ser un paquete de software con el cual se pueden realizar trabajos de modelado, simulación y análisis de elementos mecánicos.

- **Importacia:** Sin estas herramientas, no puede realizar tareas cotidianas comunes como navegar por la web, editar fotos con Photoshop, escuchar música con QuickTime, sincronizar contenido con su dispositivo móvil, jugar sus juegos favoritos, enviar correos electrónicos o interactuar en línea. Red social.

El hecho es que cada programa o aplicación tiene sus propias tareas específicas que son capaces de satisfacer las necesidades específicas de los usuarios que los implementan y ahora son una herramienta importante y esencial en la vida cotidiana porque son las actividades que las personas realizan en sus actividades diarias.

- **Diseño de Ingeniería** El diseño se entiende como el desarrollo de una estructura o un sistema que sea portador de características deseadas y que logra básicamente por la transformación de información sobre condiciones, necesidades, demandas, requisitos y exigencias, en la descripción de una estructura capaz de satisfacer esas demandas, que pueden incluir no solo los deseos del cliente, sino también requisitos de todo el ciclo de vida, esto es, de todos los estados intermedios por los que pasa el producto.
- **Modelado** Se comprende como modelo de diseño, la manera en la que un diseñador desarrolla su labor. Los métodos y modelos de diseño se podrían abarcar dentro del campo que los versados puntúan como «investigación en diseño» cuyo enfoque es establecer recomendaciones o nuevas formas que promuevan la eficiencia en el diseño.
- **Proceso de diseño** El modelo lineal del proceso de diseño, aunque resulta muy básico, permite identificar las fases del diseño que son comúnmente aceptadas por la mayoría de investigadores.

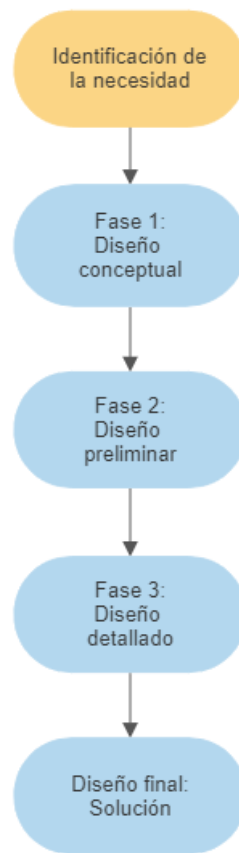


Figura 22. Flujo proceso de diseño

VIII. MARCO METODOLÓGICO

VIII-A. Metodología

La investigación acerca de los casos presentados en cuento a los pacientes que se acercan a centros de salud solicitando una evaluación o valoración para empezar un tratamiento de rehabilitación física, las extremidades inferiores afectadas a la mayoría si no al total de los pacientes les resulta de un gran impacto, afectando esto su desempeño tanto laboral como ocupacional.

El enfoque principal de este estudio fue determinar el alcance del desarrollo de este proyecto y el impacto positivo que podría tener en los pacientes con extremidades inferiores afectadas, y también el alivio ocupacional de los pacientes que recurren a centros especializados de rehabilitación física y hospitales.

Luego de esto abordaremos las decisiones tomadas a partir de la necesidad de las extremidades afectadas y el desarrollo del sistema de rehabilitación con un prototipo de uso autónomo o personal.

VIII-B. Diseño de la Investigación

La meta que nos trazamos con este proyecto fue analizar y dar solución a los problemas físicos y los daños psicológicos que estos suelen causar, brindar satisfacción al momento del paciente recibir el instructivo y prueba de mando, se optó en un diseño no experimental de tipo lineal en el cual consideramos las necesidades de los pacientes según los estudios de movilidad y los datos obtenidos de entrevistas siendo estos nuestro sustento teórico.

La investigación no experimental se ejecuta sin manipulación deliberada de variables. Básicamente está basado en observar cuando ocurre el fenómeno en su entorno natural para su posterior análisis. Se basa en categorías, conceptos, variables, eventos, comunidades o contextos, ha ocurrido u ocurrió sin la intervención directa del investigador. Por esto también se conoce como una investigación "después del hecho"(hechos y variables que han ocurrido), observando las variables y sus relaciones en su contexto.

VIII-C. Enfoque de la investigación

Buscando comprobar la hipótesis establecida con anterioridad, tomando en cuenta también los objetivos trazados, este trabajo está siendo elaborado bajo un enfoque cuantitativo uno de los planteamientos metodológicos más adecuados para esta investigación.

La investigación cualitativa enfatiza el proceso de construcción de conocimiento sobre un fenómeno a partir de sus observaciones, entrevistas, documentos, gráficos.

A partir de este enfoque se optó por el método de encuestas virtuales para conocer el nivel de satisfacción de los pacientes y poder darles solución a las incógnitas sobre el uso del equipo, dando a estos soluciones remotas o presenciales.

"Los enfoques metodológicos determinan el diseño del trabajo de una Tesis y, además, representan el posicionamiento del investigador frente a la realidad a investigar. Aquí una introducción sobre las maneras del abordaje cualitativo y cuantitativo y su buen aprovechamiento en la elaboración de la tesis." (Palazzolo y Vidarte, 2013)

VIII-D. Pacientes

Los pacientes son personas que sufren dolores y molestias y por ello necesitan asistencia médica y recibir atención especializada para mejorar su salud. La palabra "paciente" se deriva del latín "pacientes" que significa "sufrimiento." "sufrimiento".

Este estudio estará conformado por los pacientes de varios centros de salud con la necesidad de rehabilitación para lesiones en la rodilla, estas pueden ser por una lesión, como un desgarramiento de cartílago o una ruptura de ligamento.

VIII-E. Muestra y muestreo

La encuesta es el "método de investigación extenso y eficaz de dar respuestas a problemas en términos representativos como de relación variable, tras la recolección de información, según se estableció previamente en un diseño que asegure la veracidad de la información obtenida" (Buendía y otros, 1998). De este modo se utiliza para ofrecer descripciones de los objetos de estudio, se pueden detectar relaciones y patrones entre características descritas.

A grandes rasgos el método de investigación por encuestas constaría de varias etapas en su desarrollo; teórico-conceptual, estadística-conceptual y la metodología.

El muestreo no probabilístico ha tenido un uso exitoso en varios ámbitos como en estudios clínicos con voluntarios en estos estudios se buscan personas con determinadas características físicas que acuden a formar parte de un grupo de investigación, esto brinda información valiosa en las circunstancias requeridas.

VIII-F. Técnicas de recolección de datos

Esta técnica de recolección de datos se describe como: “el investigador debe tomar una decisión sobre la elección de la tecnología más adecuada para el propósito de la investigación. Estas decisiones están íntimamente relacionadas con la naturaleza del objeto de investigación y los modelos teóricos utilizados para construirlo.”

En esta investigación se usará la encuesta como técnica de recolección de datos.

VIII-G. Instrumentos para la recolección de datos

(Iuz - Duana,2020) “Las herramientas de recopilación de datos contienen procedimientos y funciones que permiten a los investigadores obtener la información que necesitan para responder a las preguntas de investigación. Todas las herramientas utilizadas en la investigación y la recopilación de datos deben ser fiables, objetivas y utilizables.”

Según la escala de Likert se realizará un cuestionario de preguntas cerradas. La escala Likert es una de las herramientas más utilizadas en la investigación y el desarrollo científico, de mercado. Sin embargo, existe cierta controversia sobre el diseño de estas escalas para la obtención de datos.

Para la evaluación del nivel de respuesta los pacientes posteriores al uso se destinará el uso de un cuestionario Likert, correspondientes a:

- Necesidad
- Expectativa

La puntuación de este cuestionario será:

1. Muy satisfecho
2. Satisfecho
3. Ni satisfecho ni insatisfecho
4. Insatisfecho
5. Muy insatisfecho

VIII-H. Determinar medidas y peso estándar de una pierna

Para poder empezar el diseño de nuestro prototipo, se requieren de dos variables las cuales son la medida y peso estándar de una pierna, para obtener estos datos se realizó una encuesta a 50 personas y se sacó la media estándar de los datos obtenidos, en lo cual nos dio de resultado: La longitud de la pierna la cual fue medida dependiendo su tamaño, al sacar el promedio nos dio una medida promedio de 96.2. El peso de la pierna fue sacado dependiendo del peso total de la persona, y de este modo dividido para dos, tratando de dar un valor proporcional el cual genera que una pierna pesa entre el 20-25 % con respecto al total del peso del cuerpo, dándonos así un promedio del peso total de la pierna de 16.88kg. Para calcular el promedio se colocó la base de datos en Excel y con el comando de promedio se generó las medidas indicadas con anterioridad.

VIII-I. Diseño 3D - Modelo y Estudios de Diseño

Modelado en 3D del equipo legbot, se realizó el diseño del proyecto en el programa SolidWorks el cual nos permite tener una perspectiva aproximada del tamaño y peso real del equipo.

VIII-II. Estudio de Frecuencia: “La norma UNE-EN 55011, límites y métodos de medida de las características relativas a las perturbaciones radioeléctricas de los aparatos industriales, científicos y médicos que producen energía en radiofrecuencia”, establecen los límites y los métodos de medida aplicables a los equipos industriales, científicos y médicos.[11] Esta norma coincide con la recomendación UIT-R SM.1056. Entre estos equipos, nos limitaremos a los médicos y sus aplicaciones son:

- Equipos de Hipertermia y diatermia por ondas cortas y microondas
- Unidades quirúrgicas eléctricas (UQE)
- Formación de imágenes ultrasónicas para el diagnóstico

Encuesta	Longitud de la pierna	Peso de la pierna
1	94 cm	16 kg
2	96 cm	17 kg
3	96 cm	16 kg
4	93 cm	16 kg
5	92 cm	18 kg
6	98 cm	18 kg
7	97 cm	19 kg
8	94 cm	20 kg
9	96 cm	20 kg
10	96 cm	21 kg
11	93 cm	15 kg
12	92 cm	16 kg
13	98 cm	15 kg
14	97 cm	15 kg
15	100 cm	17 kg
16	92 cm	17 kg
17	98 cm	16 kg
18	97 cm	16 kg
19	102 cm	18 kg
20	101 cm	18 kg
21	92 cm	19 kg
22	98 cm	20 kg
23	97 cm	20 kg
24	100 cm	21 kg
25	92 cm	15 kg
26	98 cm	16 kg
27	97 cm	15 kg
28	92 cm	15 kg
29	98 cm	21 kg
30	97 cm	15 kg
31	102 cm	16 kg
32	101 cm	15 kg
33	92 cm	15 kg
34	98 cm	16 kg
35	97 cm	17 kg
36	100 cm	17 kg
37	101 cm	21 kg
38	92 cm	15 kg
39	98 cm	16 kg
40	96 cm	15 kg
41	93 cm	15 kg
42	92 cm	16 kg
43	98 cm	17 kg
44	97 cm	17 kg
45	94 cm	15 kg
46	96 cm	16 kg
47	93 cm	15 kg
48	92 cm	15 kg
49	98 cm	17 kg
50	97 cm	17 kg
MEDIA	96,2 cm	16,88 kg

Figura 23. Tabla encuesta

Equipos ICM: en los que es intencionalmente generada o usada electromagnética conducida; la cual es necesaria para el funcionamiento interno del equipo.

La norma UNE-EN 60601-1-2, “Equipos electro médicos. Parte 1-2: requisitos generales para la seguridad. Norma colateral: compatibilidad electromagnética. Requisitos y ensayos.[11] Sección 2: Norma colateral: compatibilidad electromagnética. Requisitos y ensayos”, establece normas específicas de compatibilidad electromagnética para los equipos electro médicos y sistemas electro médicos.[11]

Para los equipos y sistemas diferentes a aquellos especificados para uso solo en localizaciones apantalladas, la norma indica que los documentos de acompañamiento deberán incluir las siguientes guías de inmunidad electro-

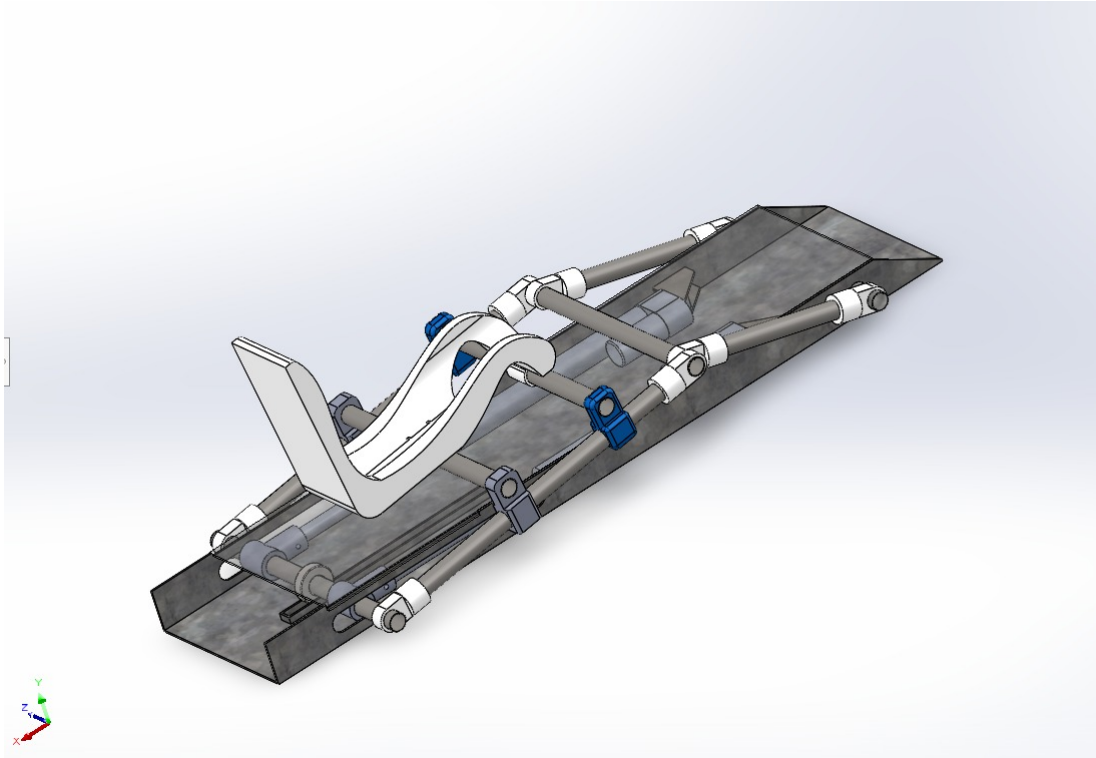


Figura 24. Legbot

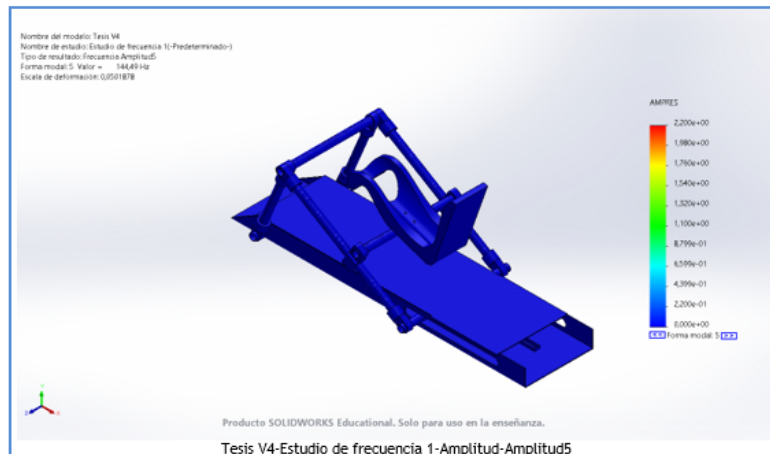
magnética:

Guía de inmunidad electromagnética para todos los sistemas y/o equipos que no son de asistencia vital.

Ensayo de inmunidad	Nivel de ensayo de la norma CEI 60601	Nivel de conformidad	Entorno electromagnético. Guía
RF radiada Norma CEI 61000-4-3	3 V/m 80 MHz a 2,5 GHz	[E1] V/m	$d = [3,5 / E_1] \sqrt{P}$ de 80 MHz a 800 MHz $d = [7 / E_1] \sqrt{P}$ de 800 MHz a 2,5 GHz donde P : máxima potencia de salida asignada del transmisor (W) conforme al fabricante del transmisor y d : distancia de separación recomendada (m) ^a Las intensidades del campo desde el transmisor fijo de RF, según se determina por un estudio electromagnético del lugar ^b , debería ser menor que el nivel de conformidad en cada rango de frecuencia.
NOTA 1- A 80 MHz y 800 MHz, se aplica el rango de frecuencia más alto			
NOTA 2- Estas directrices no se pueden aplicar en todas las situaciones. La propagación electromagnética se afecta por la absorción y reflexión desde estructuras, objetos y personas.			

Figura 25. Norma CEI 61000-4-3

Con base en las normativas de frecuencias permitidas para equipos médicos, se toma como punto de referencia para el análisis realizado en el equipo, siendo las primeras tres frecuencias descartadas al ser consideradas vibraciones aleatorias. La frecuencia n° 4 y 5 dadas en 128,93 Hz y 144,49 Hz, al ser el rango permitido entre 8MHz y 2,5 GHz las frecuencias generadas por el equipo estarían en el rango permitido, así mismo no afectaría a la estructura, objetos o personas cercanas.



Lista de modos

Frecuencia n°.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	613,35	97,618	0,010244
2	799,15	127,19	0,0078624
3	799,25	127,2	0,0078614
4	810,1	128,93	0,0077561
5	907,85	144,49	0,006921

Figura 26. frecuencias

VIII-12. *Análisis estático:* Tomando en cuenta la carga que recibirá el equipo y basándose en la distribución del peso se le aplica una carga de 160N, siendo este el peso de una pierna para una persona promedio, el cual fue obtenido mediante la siguiente información: En las extremidades inferiores, cada pie puede pesar hasta 1 kilo y medio, si el pie en cuestión es de tamaño normal. Los dos pies pesan 3 kilogramos, más el resto de las partes que forman las piernas, para un total de 32 kilogramos.


- M = Masa
- P = Peso
- g = Gravedad

$$M = P * g$$

$$M = 16kg * 9,82m/s^2$$

$$M = 157,12N$$
(1)

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeciones	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerza resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-3,96105	89,9669	0,00306587	90,054	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

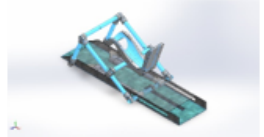
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Fuerza-1		Entidades: 15 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 160 N			

Figura 27. Cargas y sujeciones

En el análisis de las fuerzas resultantes se puede apreciar que el eje en que se aplicara la carga es el que lleva en desplazamiento, en este caso la fuerza aplicada en el eje Y es distribuida sobre todo el equipo.

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-3,96105	89,9669	0,00306587	90,054

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,000106573	-6,43721e-06	-1,42752e-05	0,000107717

Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Figura 28. Fuerzas resultantes

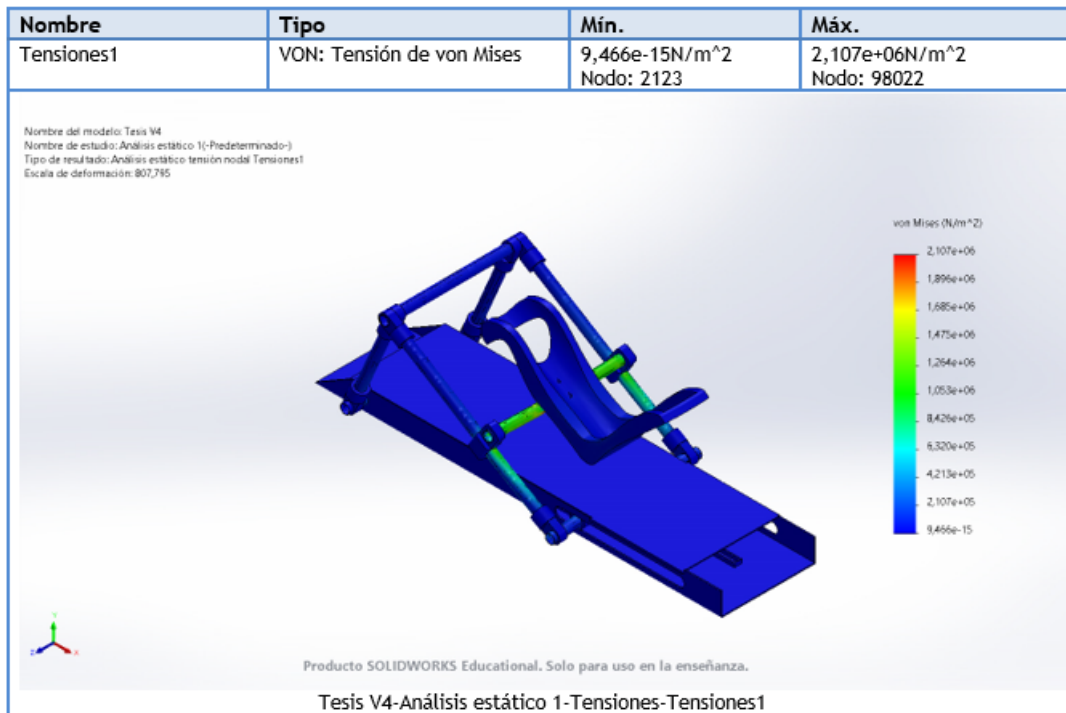


Figura 29. Punto de esfuerzo en el equipo

La concentración de esfuerzos respecto al peso que se le aplicara queda demostrado en el análisis, de la misma manera se puede apreciar que el equipo no sufrirá deformaciones por fuerzas aplicadas de 160N.

VIII-13. Diagrama de Conexiones: El diagrama describe las conexiones de elementos, el raspberry como el controlador principal el cual comanda los componentes, a través de los relés ejecutamos la conexión de control de los actuadores lineales, el juego de relés comprenden una inversión de sentido en los mismos, el controlador ecoworthy recibe la alimentación de la batería, y a su vez alimenta los actuadores, a su vez la batería alimenta el raspberry pi, esto aportando características para que el sistema sea portable.

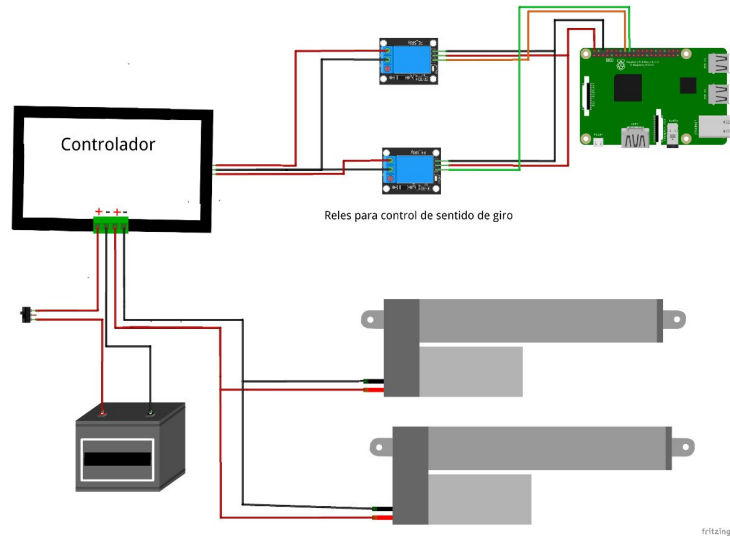


Figura 30. Caption

VIII-J. Propuesta de diseño mecánico en el software SOLIDWORKS

Una vez obtenidas las variables necesarias, se procederá al diseño del equipo mecánico, nuestro diseño se basó en crear un equipo el cual pueda realizar el mismo movimiento que realizan los fisioterapeutas al hacer la rehabilitación de la rodilla, para esto usamos un sistema de barras el cual, al ser conducido por el mecanismo escogido, podrá realizar la extensión y contracción de la pierna.

VIII-K. Diseño de la base

Para esto primero diseñamos la base, para la cual se tomó de medida base el largo de la pierna, en dicha base se colocaron los rieles por los cuales realizará el movimiento el sistema conductor, y una tapa la cual será colocada para proteger el mecanismo, y a su vez será empernada para que cuando se necesite realizar mantenimiento al mecanismo, se pueda realizar de manera más fácil. Para poder diseñar la base se tomaron en cuenta las siguientes medidas:

- h = altura de la base = 550 mm
- l = largo de la base = 110 mm
- a = ancho de la base = 250 mm
- e = espesor de la base = 300 mm

VIII-L. Diseño de los tubos

Una vez obtenida la base, se procedió a calcular el largo para los tubos que harán de conductores en nuestro sistema mecánico, para esto se tomaron en cuenta las siguientes medidas:

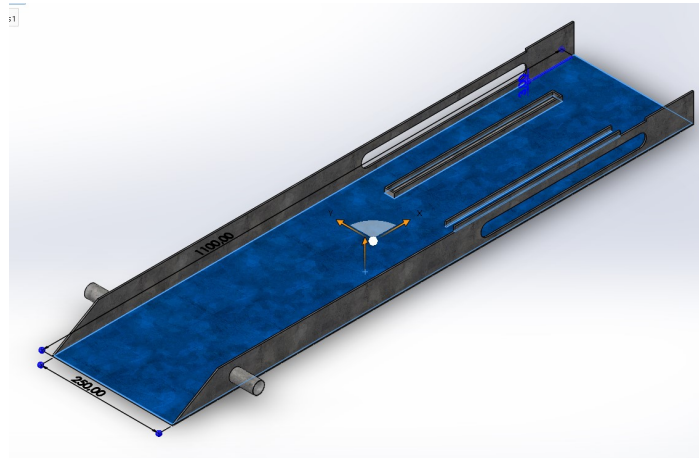


Figura 31. Base en solidworks

	Longitud	Espesor	Diámetro interno	Diámetro externo
Tubo de soporte para muslo	45 cm	3 mm	24mm	26mm
Tubo de soporte para pantorrilla	15 cm	4 mm	24mm	26mm
Tubo conductor interno	40 cm	5 mm	23mm	25mm
Tubo para sujeción del soporte del pie	40 cm	5 mm	24mm	26mm
Tubo estabilizador para rodilla	40 cm	5 mm	24mm	26mm

Figura 32. Tabla para tubos

Como referencia se analizaron y se tomaron en cuenta modelos de mecanismos preexistentes y así colocamos los tubos de la siguiente manera

VIII-M. *Diseño de acoples*

Para tener una mayor precisión a la hora de unir nuestros tubos, se decidió diseñar acoples los cuales se pudieran colocar a la medida correcta de los tubos, así pudiendo evitar interferencias y permitiendo realizar el movimiento requerido en nuestro proyecto, pudiendo así hacer nuestro movimiento lineal correctamente. De este modo se diseñaron tres tipos de acoples:

VIII-N. *Acoples externos*

Este tipo de acople se lo diseño para poder ser colocados en las terminaciones de los tubos y poder unirlos entre si, con los otros acoples, evitando que se genere interferencias y priorizando su unión y un buen agarre.

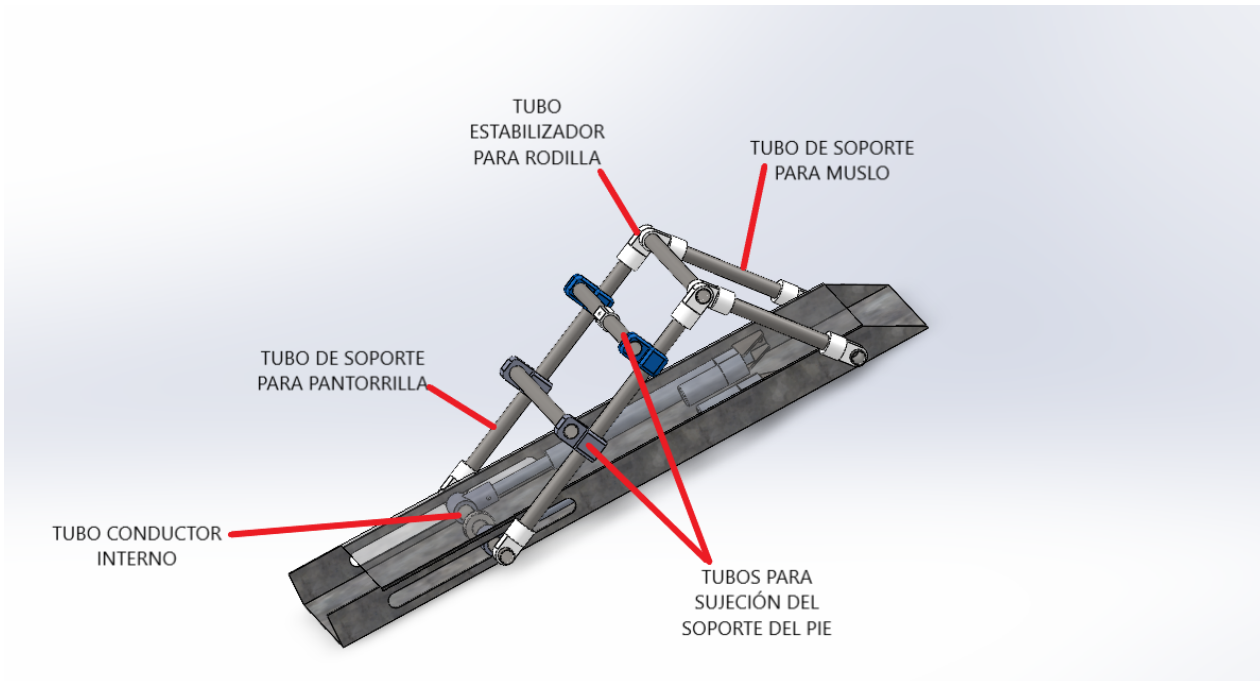


Figura 33. Esquema del equipo

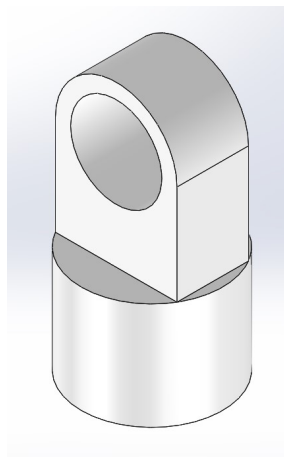


Figura 34. Acople 3D Termoplástico

VIII-Ñ. Acoples de barras

El diseño de estos acoples se basó en que estos van a ser colocados a lo largo de la barra, adicionalmente a eso serán puestos de manera que puedan ser enlazados a otros acoples sin ningún problema.

VIII-O. Acoples de cilindros

Estos acoples fueron diseñados para poder ser conectados a los cilindros lineales y a su vez a la barra, para así al unirlos, poder realizar el movimiento lineal.

Todos los acoples mencionados fueron impresos en impresora 3D, se analizaron los materiales que se usa para este tipo de impresiones y se determino que era conveniente usar de material PLA al 100% de relleno, para que puedan soportar el peso requerido.

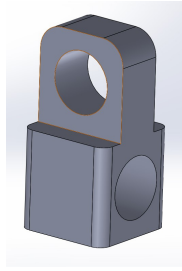


Figura 35. Acoples de barras

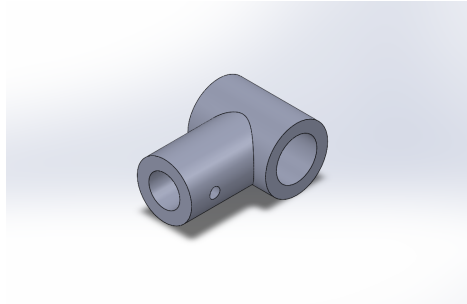


Figura 36. Acoples de cilindros

VIII-P. Selección de materiales

Debido a que nuestro proyecto está caracterizado como equipo médico se decidió usar Acero Inoxidable AISI 304, esto debido a que según las normas AISI este es el tipo de acero que se debe usar en equipos médicos. Este tipo de material es uno de los más utilizados para la manufactura de equipos médicos. Cabe destacar que aparte de por su rentabilidad y maleabilidad, también es usado debido a su alto grado de asepsia.

VIII-Q. Ficha Técnica del Acero Inoxidable 304

Composición Química del acero inoxidable 304 para dispositivos médicos Este tipo de acero tiene una alta resistencia a corrosión, además de tener un bajo contenido en carbono. Debido a esto son el tipo de acero ideal para equipos médicos.

Composición Química	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N
	0.07max	2.0 max	0.75 max	0.045 max	0.015 max	18.0 – 19.5	8.0 – 10.5	0.10 max

Figura 37. Tabla composición del acero,[5]

Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304 para artefactos médicos Sus ventajas son debido a que tienen una alta dureza, son extremadamente trabajables, y moldeables sin necesidad de fundirlo.

VIII-R. Selección de mecanismo interno de movimiento

Para realizar una selección adecuada para el mecanismo se analizaron varias propuestas, entre ellas el uso de cadenas, piñones, motores a pasos, entre otros. Dado que el equipo es para uso médico, se determinó que debía ser usado un mecanismo que no fuera riesgoso y no generara tanto ruido, por la cual se determinó que el uso de

Grado	Resistencia a la tensión	Límite elástico	Elongación	Dureza (HR B) max	Dureza Brinell (HB) max
304	540	250	45	92	201

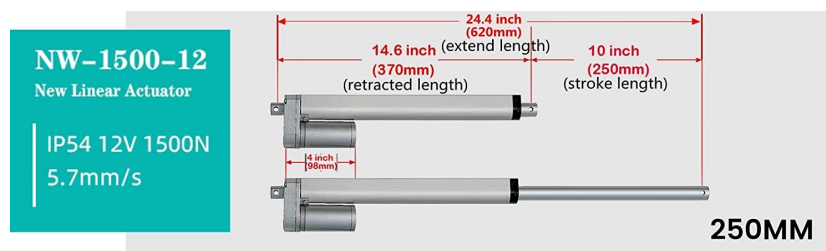
Figura 38. Acero grado 304, [5]

actuadores lineales era el adecuado, debido a que no genera tanto ruido, no es un mecanismo tóxico, y su costo no es muy elevado. Para poder escoger que tipo de actuador es el adecuado se tomó en cuenta lo siguiente:

- Se analizó la fuerza que se requiere para el movimiento del equipo.
- Se determinó la distancia máxima del recorrido en el que se moverá el actuador lineal.
- Analizar la velocidad en la que se necesita que el actuador lineal realice el movimiento
- Determinar la frecuencia o ciclo de trabajo en la que se necesita que el actuador lineal pueda funcionar sin detenerse.

Una vez hecho este análisis se determinó que debido a que el peso promedio de nuestra pierna es de 16.88kg, el actuador lineal debe soportar una carga mayor a 20kg, para esto se realizó una búsqueda de actuadores lineales en el mercado, se concluyó en usar un Actuador lineal de la marca Eco-Worthy que soporta una fuerza de hasta 1500N.

Una vez seleccionado el actuador y la fuerza que se requiere, se analizó la distancia a la cual se necesita que el actuador se expanda, esto lo pudimos escoger en la tabla que muestra los datos estándar dependiendo la extensión que necesitemos, de este modo se determinó que para el movimiento que necesitamos que haga la pierna se requería una extensión de 250mm.



RATED LOADS (LBS) N	STROKE LENGTH (MM)	TYPE	VOLT	RETRACTED LENGTH (MM)	EXTENDED LENGTH (MM)
330 lbs (1500N)	50	NW-1500-12	12V	155	205
	100	NW-1500-12	12V	205	305
	150	NW-1500-12	12V	260	410
	200	NW-1500-12	12V	320	520
	250	NW-1500-12	12V	370	620
	300	NW-1500-12	12V	420	720
	350	NW-1500-12	12V	470	820
	400	NW-1500-12	12V	550	950
	450	NW-1500-12	12V	600	1050

Figura 39. Tabla actuador lineal

Una vez seleccionados estos dos valores, se procedió a analizar si la velocidad y la frecuencia en la que trabajan este actuador lineal es la correspondiente a la que se necesita en el proyecto, debido a que el equipo de rehabilitación debe trabajar en velocidades bajas, ya que son para personas que no pueden hacer movimientos de manera rápida, ni brusca, se llegó a la conclusión de que la velocidad de 0.22in/seg y el ciclo de trabajo del 20 % si corresponde a lo que se necesita, y nos permite realizar nuestro movimiento lineal de manera correcta.

Especificaciones:

Longitud del trazo	9.843 in.	Ciclo de trabajo	20%.
Longitud retraída	14.567 in.	Material:	Aleación de aluminio.
Longitud extendida.	24.409 in.	Color:	Gris plateado.
Voltaje de entrada	12 V CC.	Temperatura de funcionamiento	-78.8 °F ~ +149.0 °F.
Carga máxima de empuje	1500 N/330 libras.	Clase de protección	IP54.
Carga máxima	330.7 lbs.	Corriente sin carga	0.8A.
Carga máxima de extracción	1000 N/264 libras.	Corriente máxima de carga	3 A.
Velocidad de viaje	0.22 in/seg. (0.228 in/s)		

Figura 40. Especificación actuador lineal

VIII-S. Selección de sensores

Para poder tener una idea más clara del movimiento que debe realizar el proyecto y la distancia en la que se desplaza, se hizo un análisis y se decidió usar un sensor de desplazamiento lineal, el cual cumpla la función de indicarnos la posición en la que se encuentra la pierna al ser extendida o retracción.

Para esto escogimos un sensor de tipo regla electrónica de la marca KTC el cual funciona con una alta compatibilidad, y este adopta el principio de un potenciómetro y cambia el desplazamiento cuando su voltaje de entrada dado sea del 0 al 100 %, su rendimiento es estable y tiene una respuesta rápida.

En la tabla se puede analizar las especificaciones técnicas de nuestro sensor.

Una vez seleccionado nuestro tipo de sensor y la marca, para poder escoger cuál distancia se necesita, se tuvo que hacer un análisis de las medidas del mismo, para ver cuál se adaptaba a la longitud necesaria para medir la posición del movimiento de nuestro equipo.

Con las medidas de la tabla y con los datos de medidas que se basan en la imagen, se pudo analizar y escoger de una mejor forma cuál distancia debe tener el sensor a usar.

Con todo este análisis, se concluye que el mejor sensor a usar para nosotros es el KTC-450, debido a la longitud de la posición que debe medir

Specifications	
Supply voltage	< 40 V _{DC}
Output signal	Potentiometer / 4-20 mA
Resolution	unlimited
Linearity	
≤400 mm stroke	<±0.07% FS
>400 mm stroke	<±0.05% FS
Repeatability	<±0.013 mm
Wiper current	
recommended	< 1 μA
Temperature	
potentiometer output	-55°C...+125°C
4-20 mA output	-40°C...+85°C
Material	
housing	Aluminium
rod	Stainless steel
Encapsulation	IP 55*
Life span	< 10 million cycles **
* When non-operating	
**Performance may change over time	

Figura 41. Ficha tecnica sensor

Model specific properties					
	D.S (mm)	M.S (mm)	A.S (mm)	A (mm)	R (kΩ) ±20%
75	75	79	75	139	2.5
100	100	104	100	164	3.4
150	150	155	150	215	5.0
225	225	231	226	291	2.4
300	300	307	302	367	3.2
375	375	384	378	444	4.0
450	450	460	455	520	4.8
525	525	536	531	596	5.6
600	600	612	607	672	6.4
750	750	765	759	825	8.0
900	900	917	912	977	9.6
1000	1000	1019	1013	1079	10.7

Figura 42. Propiedades físicas del modelo seleccionado

VIII-T. Selección de rodamientos

Para la selección de nuestro rodamiento se necesitaron evaluar diferentes factores como:

- Tamaño del rodamiento
Para poder escoger el tamaño se debe considerar la vida nominal en caso de los rodamientos funcionen en condiciones normales o la carga estática si funcionan a velocidades muy bajas, o tengan mala lubricación.
- Espacio de instalación[8]

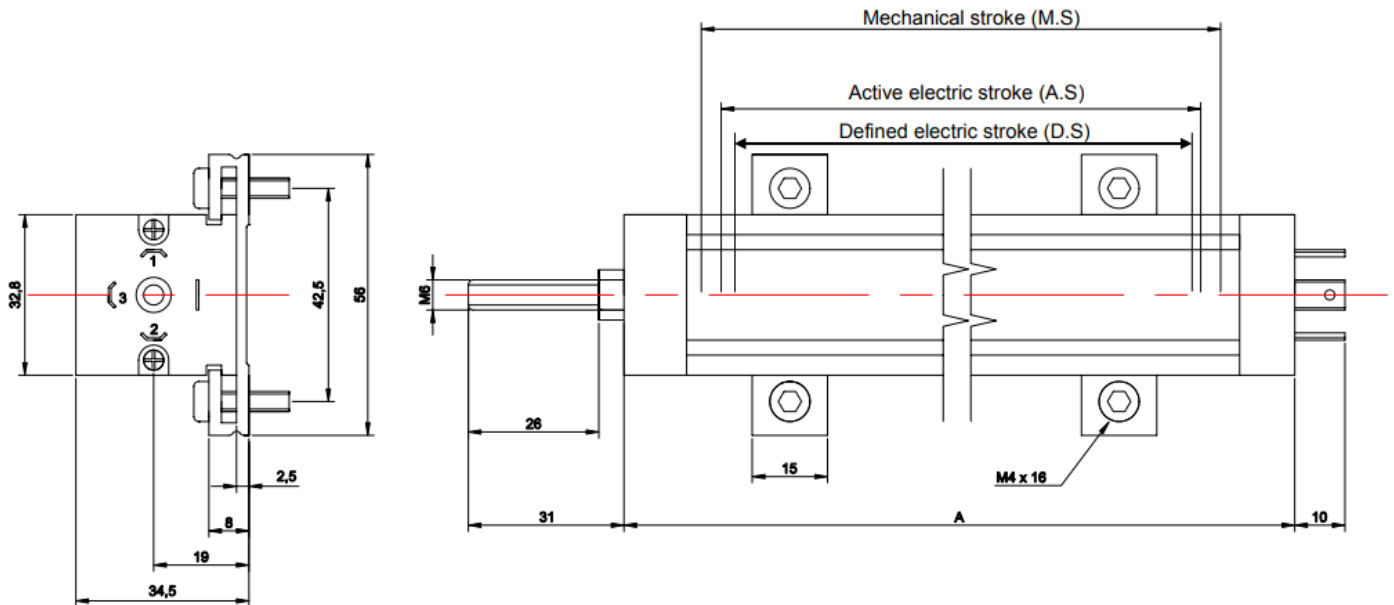


Figura 43. Lamina sensor KTC

Se debe determinar el espacio disponible para colocar el rodamiento, así poder asignar cuál es el diámetro interno y externo.

- Velocidad

Esto depende de muchos factores, dependiendo la carga que deben soportar, el tipo de jaula, tamaño y método de lubricación. Los rodamientos de tipo de bolas de ranura profunda pueden alcanzar hasta la máxima velocidad permitida y su diferencia los rodamientos de bolas axiales alcanzan la velocidad mínima.[8]

- Deslizamientos de los anillos interior/externo

Los anillos tanto interiores como exterior no deben estar inclinados, el nivel permisible de inclinación depende de los tipos de rodamientos, pero suele ser muy pequeño, si se requiere un mayor ángulo de inclinación se deben escoger otro tipo de rodamientos como los de rodillos autoalineantes o rodamientos especiales.

- Rigidez

Se debe tener ese dato el cual describe la relación que existe entre la carga del rodamiento y la deformación elástica que hay en los anillos interior y exterior. Si se necesita una rigidez elevada es mejor usar rodamientos de rodillos. [8]

- Ruido de funcionamiento y par

Dependiendo del tipo de rodamientos dependerá el tipo de ruido o par, por ejemplo, los rodamientos de rodillos son los que generan al mínimo el ruido, aunque si se busca que el funcionamiento sea más silencioso se pueden usar rodamientos de bolas de ranura profunda o de rodillos cilíndricos.

- Precisión en funcionamiento

Para poder determinar la precisión dependerá del tipo de rodamiento y cuanta precisión se requiera en el funcionamiento, dependiendo de esto los rodamientos con mejor precisión son los de bola de ranura profunda, los de contacto angulas y los de rodillos cilíndricos.

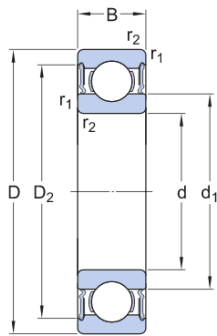
- Montaje y desmontaje

Esto depende de como se deba manipular este rodamiento, si se necesita desmontarlos, si necesitan mantenimiento, para estos casos los rodillos cilíndricos, los rodillos cónicos y los de agujas son los indicados.[8]

VIII-U. Cálculos y Dimensiones

VIII-U1. Selección del rodamiento: Una vez analizado cada uno de los factores anteriores, teniendo en cuenta las medidas necesarias y el peso a soportar del rodamiento, se seleccionó el rodamiento SFK 6205. El cual cuenta

con las dimensiones de la tabla, las cuales corresponden y encajan con la medida exterior del tubo en el que se colocara el rodamiento.[8]



DIMENSIONES

d	0.9843 in	Diámetro del agujero
D	2.0472 in	Diámetro exterior
B	0.5906 in	Ancho
d ₁	≈ 1.3386 in	Diámetro del resalte
d ₂	≈ 1.3386 in	Diámetro de rebaje
D ₂	≈ 1.8 in	Diámetro de rebaje
r _{1,2}	min. 0.0394 in	Dimensión del chaflán

Figura 44. Dimensionado rodamiento

Una vez analizado que nuestro rodamiento cumpla con las medidas recomendadas, también se analizó sus capacidades de carga para ver si eran acordes al peso que deben soportar los rodamientos, para esto se tomó en cuenta que la carga dinámica máxima del actuador lineal es de 1000N, y la del rodamiento es de 14.8kN, por ende, según especificaciones este tipo de rodamiento funcionara para el uso que se le quiere dar.[8]

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	2 630 lbf
Capacidad de carga estática básica	C ₀	1 720 lbf
Carga límite de fatiga	P _u	75 lbf
Velocidad límite		8 500 r/min
Factor de carga mínima	k _r	0.03
Factor de cálculo	f ₀	13.8

Figura 45. Datos rodamiento

VIII-U2. Selección de control para el equipo: Para el control del equipo, se decidió usar un controlador de la misma marca ECO-WORTHY el cual cuenta con un mando principal en el cual se debe conectar el actuador lineal y la fuente de alimentación para el equipo, la cual debe ser de 12V, en nuestro caso al realizar la conexión de dos actuadores lineales, se realizó una conexión en paralelo. En dicho equipo se cuenta con un interruptor manual que al presionarlo hará que el actuador lineal se expanda o se contraiga.



Figura 46. ECO-WORTHY

Adicional a eso también se cuenta con un mando a distancia inalámbrico, el cual este compuesto de cuatro botones los cuales funcionan de la siguiente forma:

- El botón A es para que el motor avance de manera positiva hacia adelante.
- El botón B es para que el motor girara de manera negativa.
- El botón C sirve para que al sostenerlo pulsado el motor avance positivamente hasta que se lo suelte.
- El botón D sirve para que al mantenerlo sostenido el motor gire de manera negativa hasta que se lo suelte.



Figura 47. Control ECO-WORTHY

VIII-V. Equipo Legbot

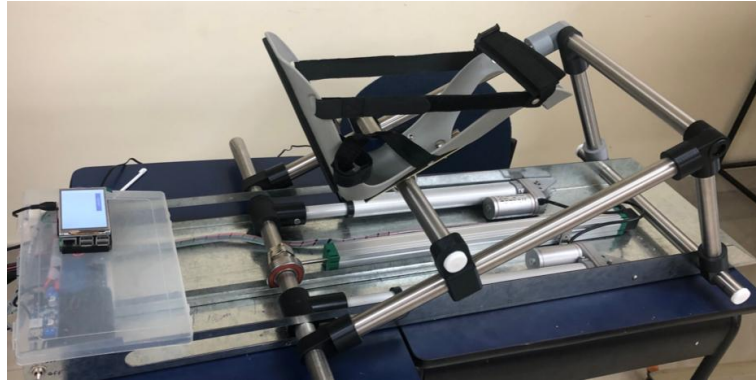


Figura 48. Equipo Legbot

IX. CRONOGRAMA

El cronograma de actividades es un calendario en el cual se establecen los tiempos en los que el proyecto se lleva a cabo o un conjunto de actividades a desarrollar o trabajar, estos se pueden usar en un sinnúmero de cosas, uno de los ejemplos es planear la forma en que realizas y llevas a cabo las tareas, lo tenemos generalmente presente en el desarrollo de proyectos, lo primordial de cronograma es plasmar en cada una de las tareas y fechas previstas desde el inicio hasta la culminación de las actividades a realizar.

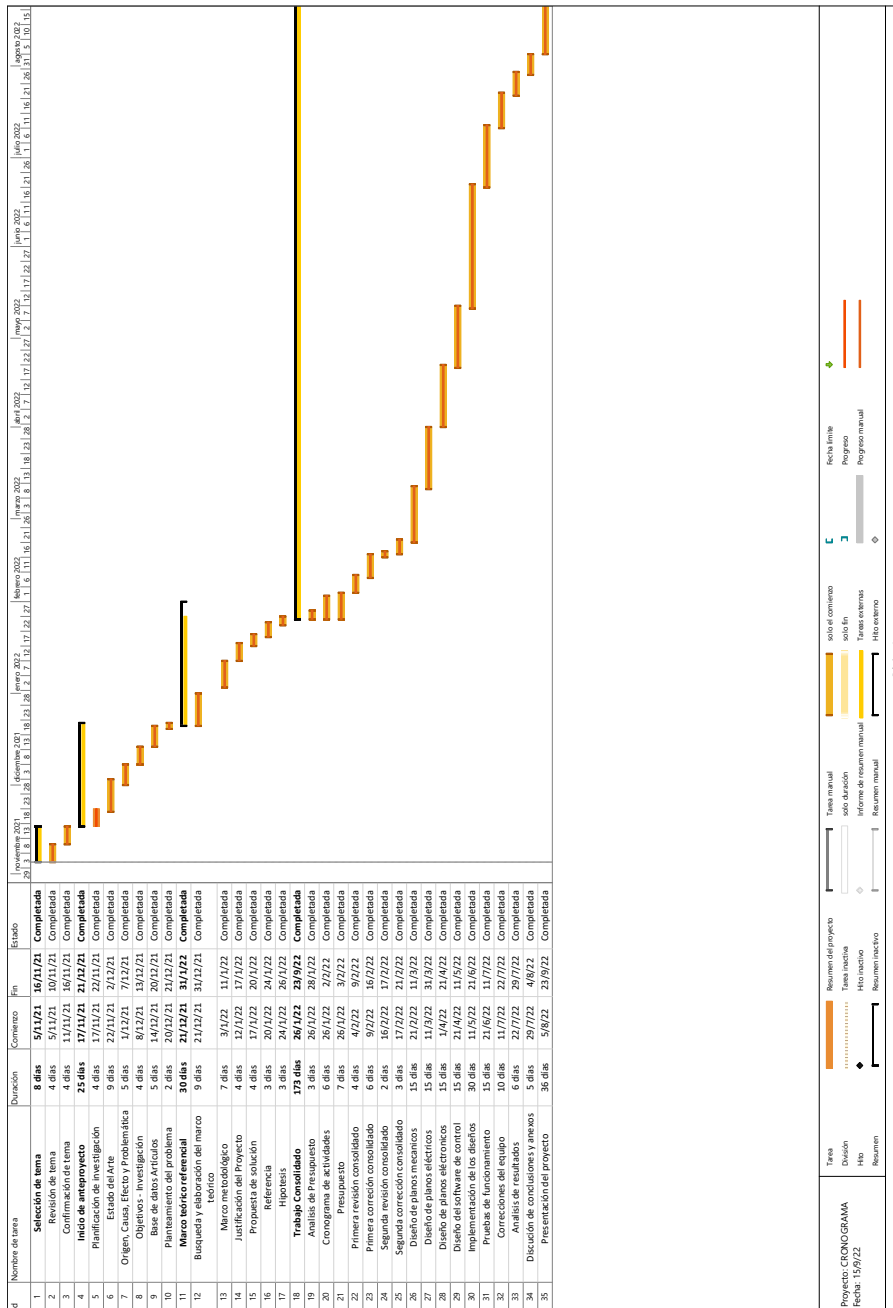


Figura 49. Cronograma

X. PRESUPUESTO

PRESUPUESTO Y ACTIVIDADES						
Items	Cantidad	Descripción	Catacterísticas	Procedencia	Precio Unitario	Precio Total
1	1	GeeekPi Raspberry Pi 4	Pantalla táctil con funda, pantalla táctil de 3,5 pulgadas con Raspberry Pi Fan Raspberry Pi Heatsinks, monitor de 320 x 480 píxeles TFT LCD de juego para Raspberry Pi	Estados Unidos	\$ 26,99	\$ 26,99
2	1	Cargador Rasberry	CanaKit Fuente de alimentación Raspberry Pi 3 de 3.5 A	Estados Unidos	\$ 9,99	\$ 9,99
3	1	Raspberry Pi 3 Modelo B	La Raspberry Pi 3 Modelo B es una computadora de placa única de la Fundación Raspberry Pi. En esta versión, se actualizaron a un procesador ARM de cuatro núcleos de 1,2 Ghz y 64 bits y agregaron LAN inalámbrica 802.11n, Bluetooth 4.1 y Bluetooth Low Energy	Estados Unidos	\$ 134,00	\$ 134,00
4	2	Actuador Lineal	Rastreador solar de Eco-Worthy, muy resistente, carga de hasta 330 lb, accionamiento lineal, multifunción, uso automático electrónico, 12v	Estados Unidos	\$ 41,99	\$ 83,98
5	1	Controlador de Actuador Lineal	ECO-WORTHY Controlador de motor de actuador lineal, kit de control de inversión positiva remota para actuador lineal, sistema de control remoto de marcha atrás hacia adelante 12 V CC	Estados Unidos	\$ 32,99	\$ 32,99
6	1	Sensor lineal	Regla electrónica de moldeo por inyección, sensor de desplazamiento de varilla de tracción, sensor de posición lineal de acero inoxidable, piezas de hardware universales (KTC-450) Visita la tienda de Fafeicy	Estados Unidos	\$ 72,25	\$ 72,25
7	1	Importación	Pago Courier de Estados Unidos a Ecuador	Estados Unidos	\$ 73,92	\$ 73,92
8	1	Tubo de Acero	Acero Inoxidable 304	Ecuador	\$ 35,00	\$ 35,00
9	1	Plancha de Acero	Plancha de Acero Inoxidable 304	Ecuador	\$ 57,00	\$ 57,00
10	2	Rodamientos		Ecuador	\$ 10,00	\$ 20,00
11	1	Impresiones en 3D		Ecuador	\$ 122,00	\$ 122,00
12	1	Soldaduras		Ecuador	\$ 40,00	\$ 40,00
13	1	Doblado y corte a Laser		Ecuador	\$ 30,00	\$ 30,00
14	1	Soporte para pie		Ecuador	\$ 30,00	\$ 30,00
15	1	Elementos de subjección		Ecuador	\$ 10,00	\$ 10,00
16	1	Consultoria	Revisión de programación de expertos en Python	Ecuador	\$ 50,00	\$ 50,00
17	1	Bateria	Bateria 12v 2.8a	Ecuador	\$ 22,50	\$ 22,50
TOTAL						\$ 850,62

Figura 50. Presupuesto Legbot

XI. CONCLUSIONES

El propósito principal de este proyecto a sido desarrollar un equipo el cual de forma automatizada permita llevar acabo un tratamiento de rehabilitación para la rodilla, se hizo un análisis para determinar cuales son los tipos de lesiones en la rodilla, más comunes. Como resultado se determinó que la lesión más común es la del ligamento cruzado anterior. Según la medicina moderna, el tratamiento idóneo para esta lesión se basa en la realización de movimientos de flexión y estiramiento para la pierna.

De este modo se ha procedido a diseñar un equipo mecánico que tenga las medidas estándar de una pierna de un hombre adulto, tomando en cuenta los datos obtenidos del peso y su longitud. Una vez obtenido el diseño del equipo, se pasó a trabajar en el mecanismo de movimiento. Para esto se utilizaron actuadores lineales, debido a que se determinó que eran los más adecuados para este tipo de equipo ya que estos no producen fuertes sonidos y no necesitan de aceites o sustancias las cuales puedan ser peligrosas para las personas que requieren está terapia.

Para poder medir el desplazamiento del equipo y poder controlar el nivel en el cual se realiza el tratamiento con la máquina diseñada, se usó un sensor lineal y una raspberry con una pantalla touch, en la cual se puede visualizar los 4 niveles a los que puede funcionar el equipo, dependiendo de la necesidad del paciente que va a ser tratado.

El uso de esta máquina alivia el dolor en las articulaciones del paciente, utilizando un movimiento suave disminuyendo el esfuerzo que debe realizar el paciente. De esta manera se podría implementar el uso de esta máquina para los centros de rehabilitación para así ayudar al fisioterapeuta a realizar estos ejercicios sin tener que realizar el esfuerzo de mover y sostener la pierna del paciente por periodos largos de tiempo. Además de que puede ser utilizado para disminuir el período que se tarda un paramédico en atender a sus pacientes.

XII. RECOMENDACIONES

Como recomendaciones se establece mejorar el acople donde se posiciona la extremidad afectada para un mejor agarre del mismo, esto brindará un mayor uso del prototipo para toda clase de personas sean niños, adultos, flacos o personas gruesas. De tal forma tambien mejorar las velocidades del movimiento, esto beneficia a la rehabilitación de la extremidad ya que ninguna sigue el mismo tiempo de tratamiento que otra.

Para el uso de la máquina con ciertos pacientes se ha evidenciado que, por la forma de su cuerpo, se necesita utilizar una base acolchada. Ya que si se prolonga el uso de la máquina puede producir molestias en la espalda.

Para evitar vibraciones entre la pierna y la máquina, la superficie en donde se trabaje debe tener un coeficiente de fricción alto y evitar superficies como baldosas. Ya que las vibraciones producidas por esta representan una molestia para el paciente

XIII. ANEXOS

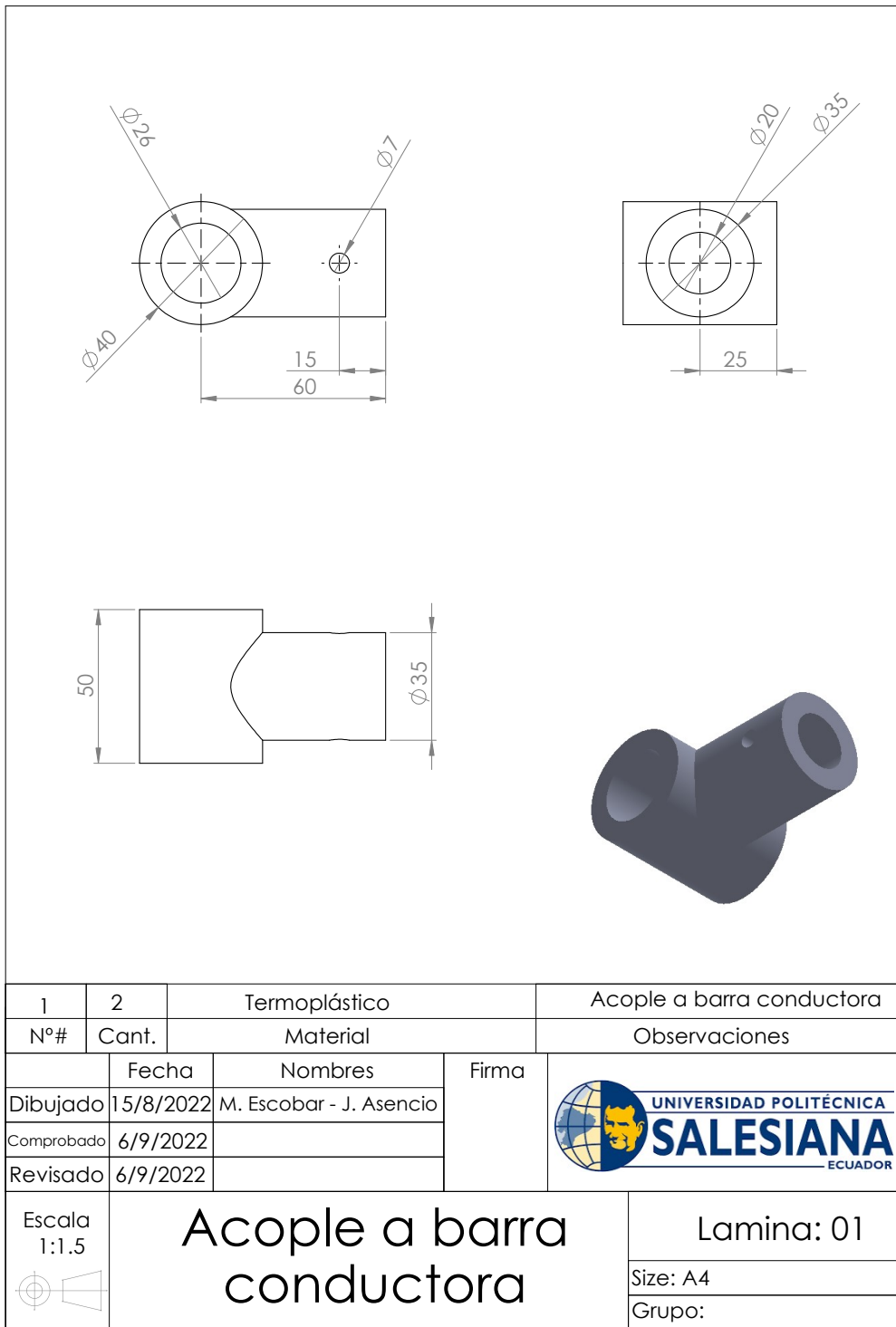
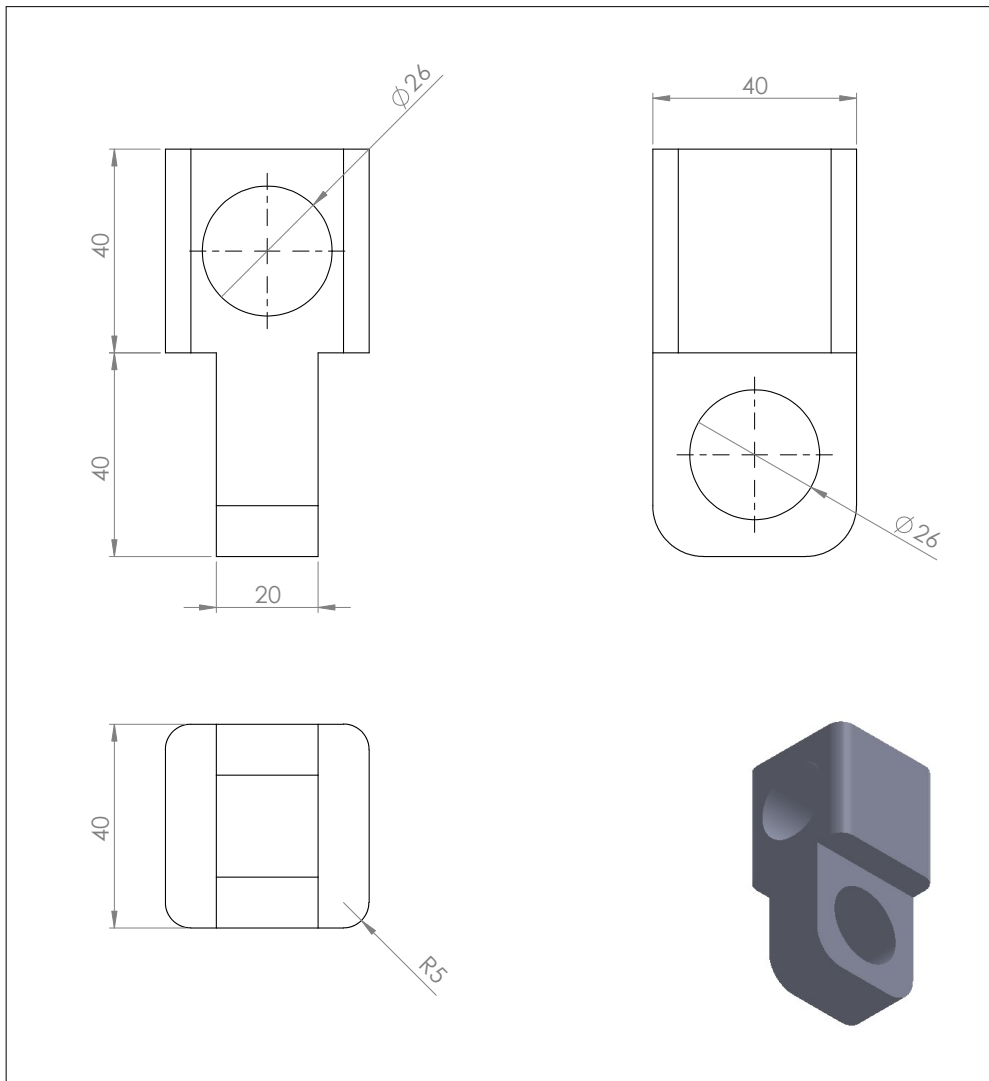


Figura 51. Acople a barras



1	2	Termoplástico		Acople a barras
Nº#	Cant.	Material		Observaciones
	Fecha	Nombres	Firma	
Dibujado	15/8/2022	M. Escobar - J. Asencio		
Comprobado	6/9/2022			
Revisado	6/9/2022			
Escala 1:1.5 	<h1>Acople a barras</h1>			Lamina: 02 Size: A4 Grupo:

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 52. Acople a barras

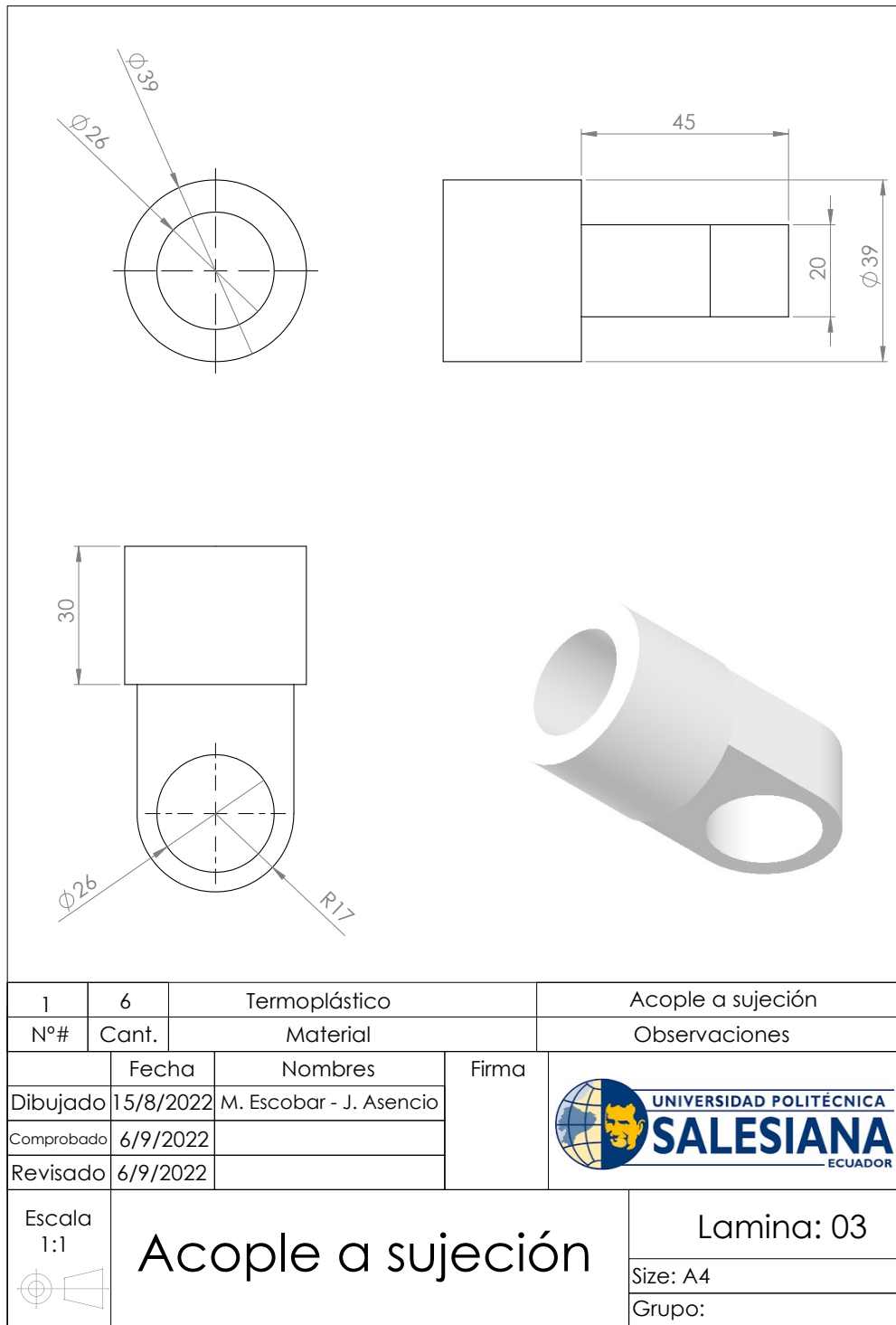


Figura 53. Acoples de sujeción

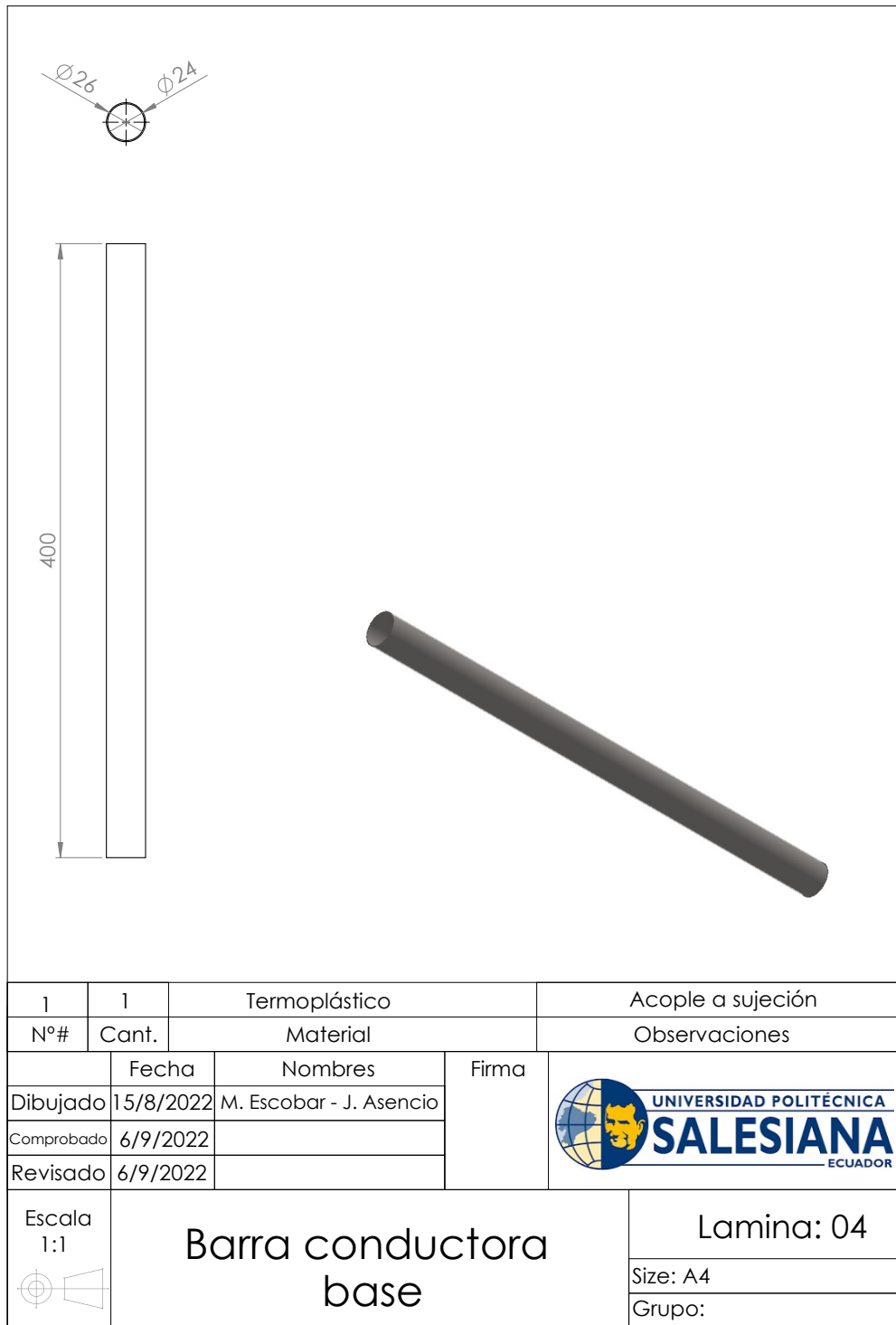
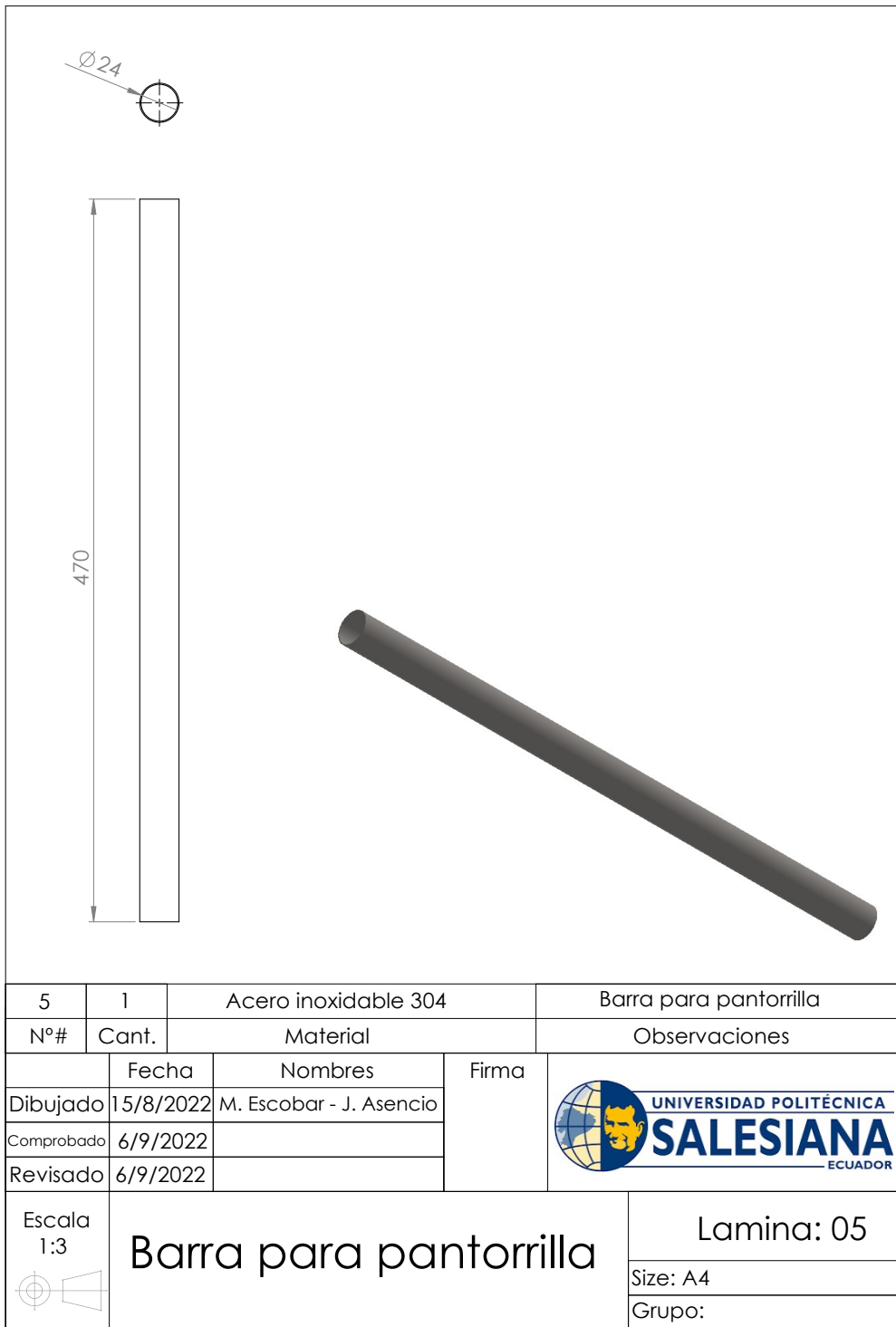
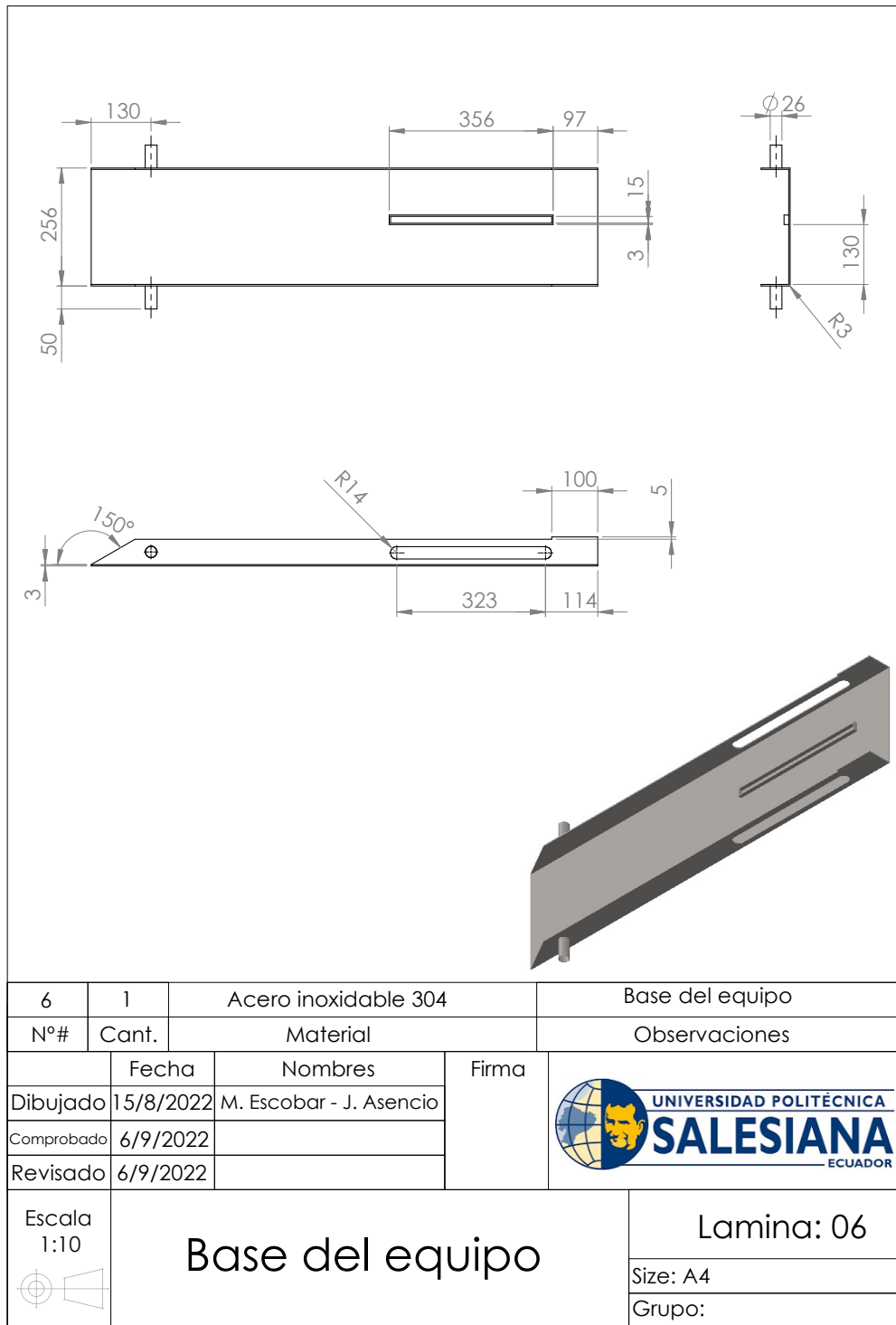


Figura 54. Barra conductora base



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 55. Barra Pantorrilla



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 56. Base Galvanizada

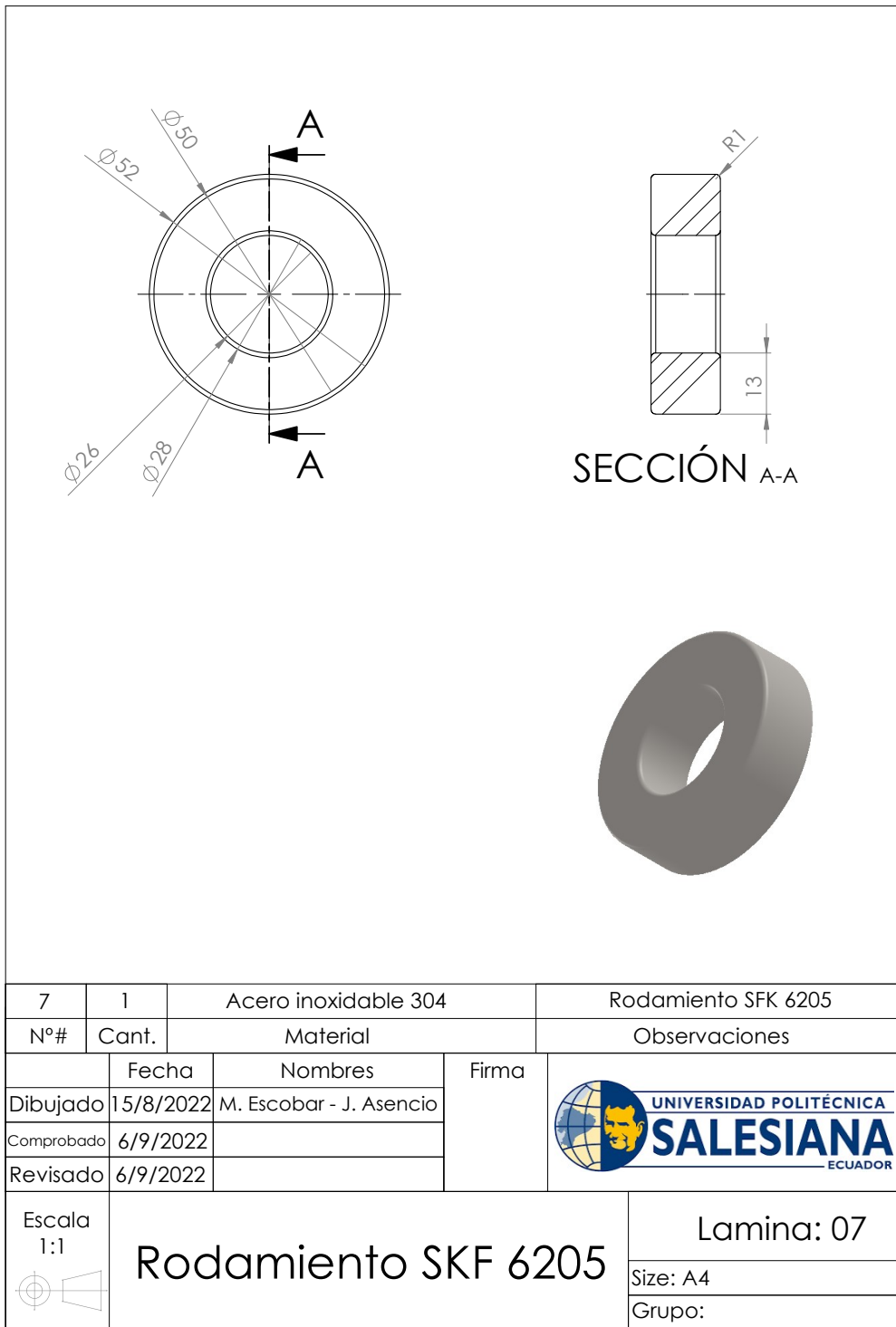
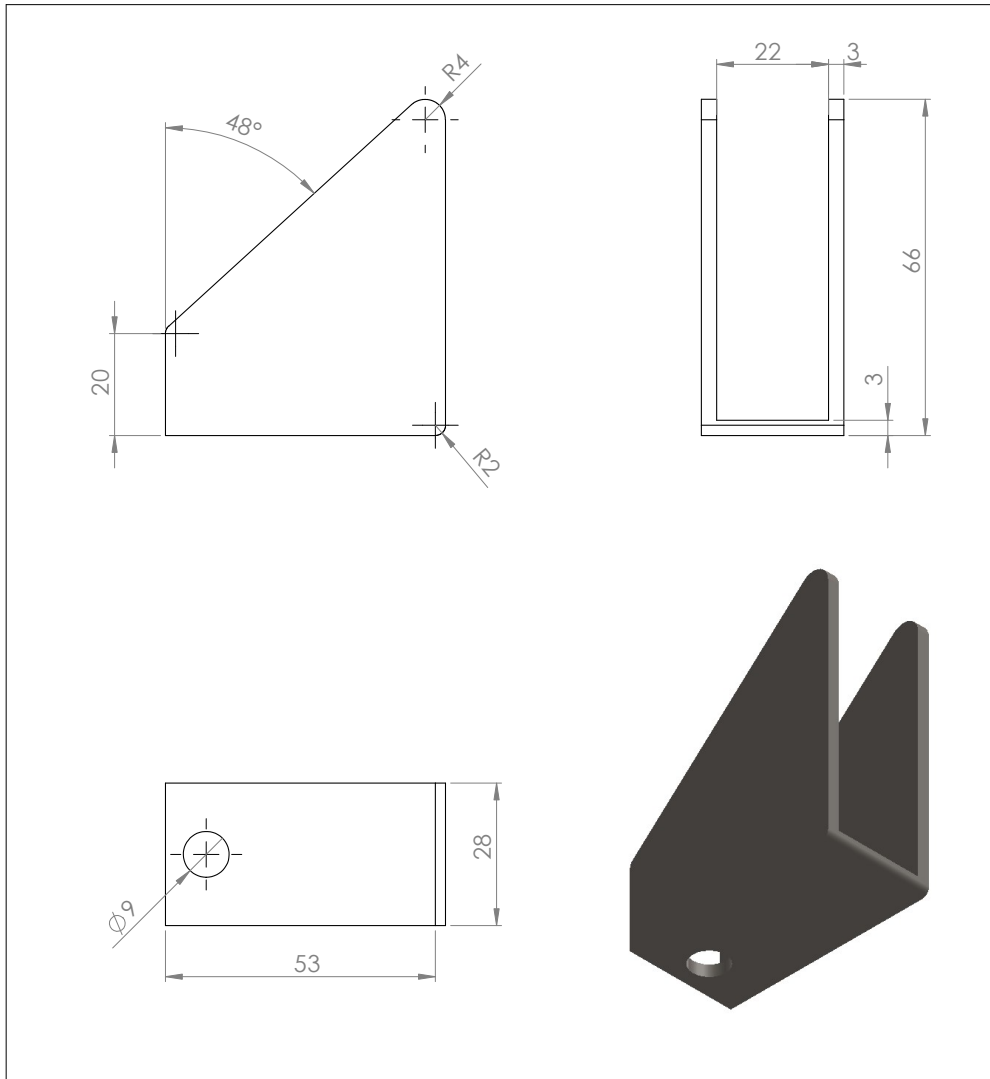


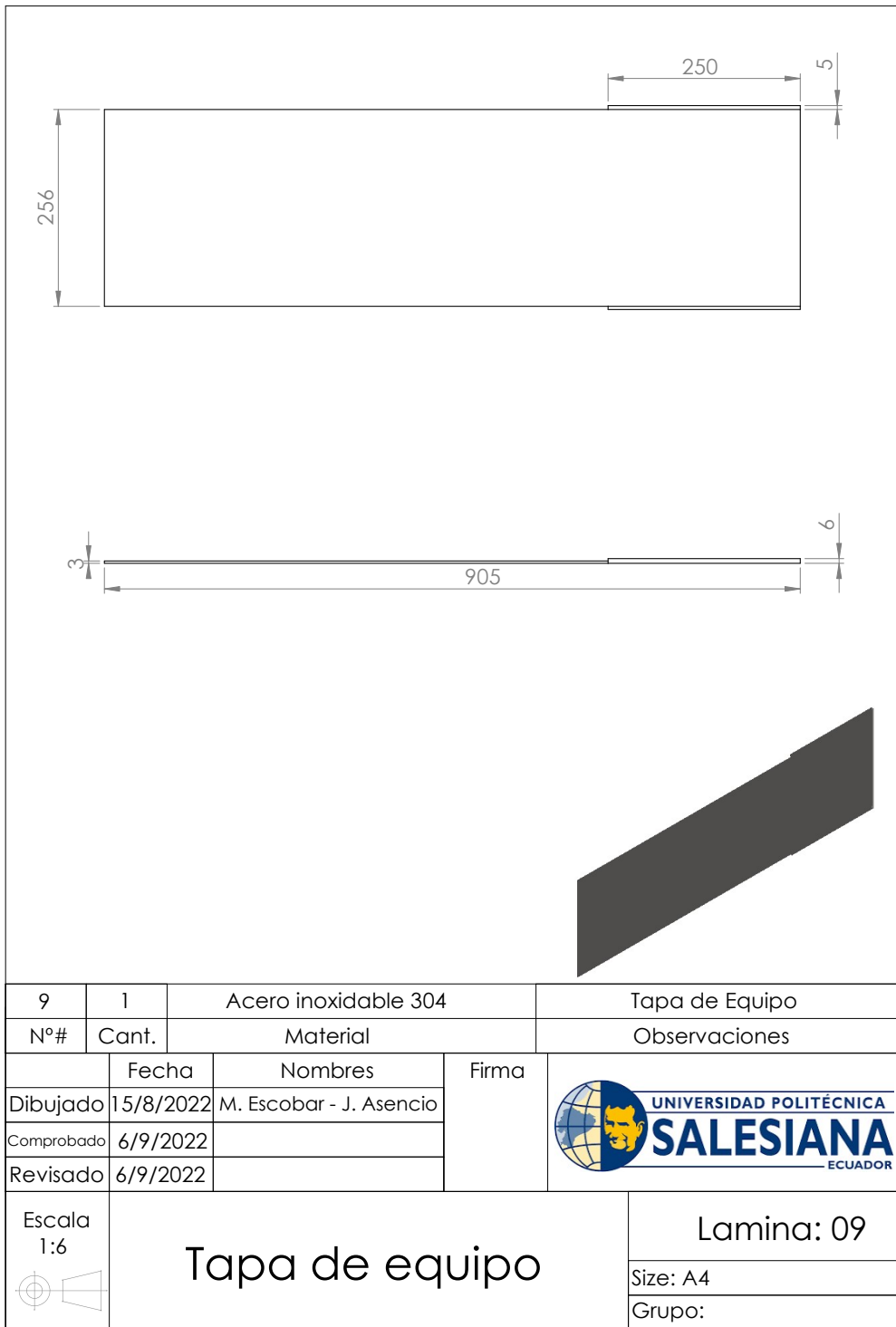
Figura 57. Rodamiento



8	1	Acero inoxidable 304	Soporte de Actuador Lineal
Nº#	Cant.	Material	Observaciones
	Fecha	Nombres	Firma
Dibujado	15/8/2022	M. Escobar - J. Asencio	
Comprobado	6/9/2022		
Revisado	6/9/2022		
Escala 1:1 	Soporte de actuador lineal		Lamina: 08 Size: A4 Grupo:

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 58. Soporte para actuador



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 59. Tapa Equipo

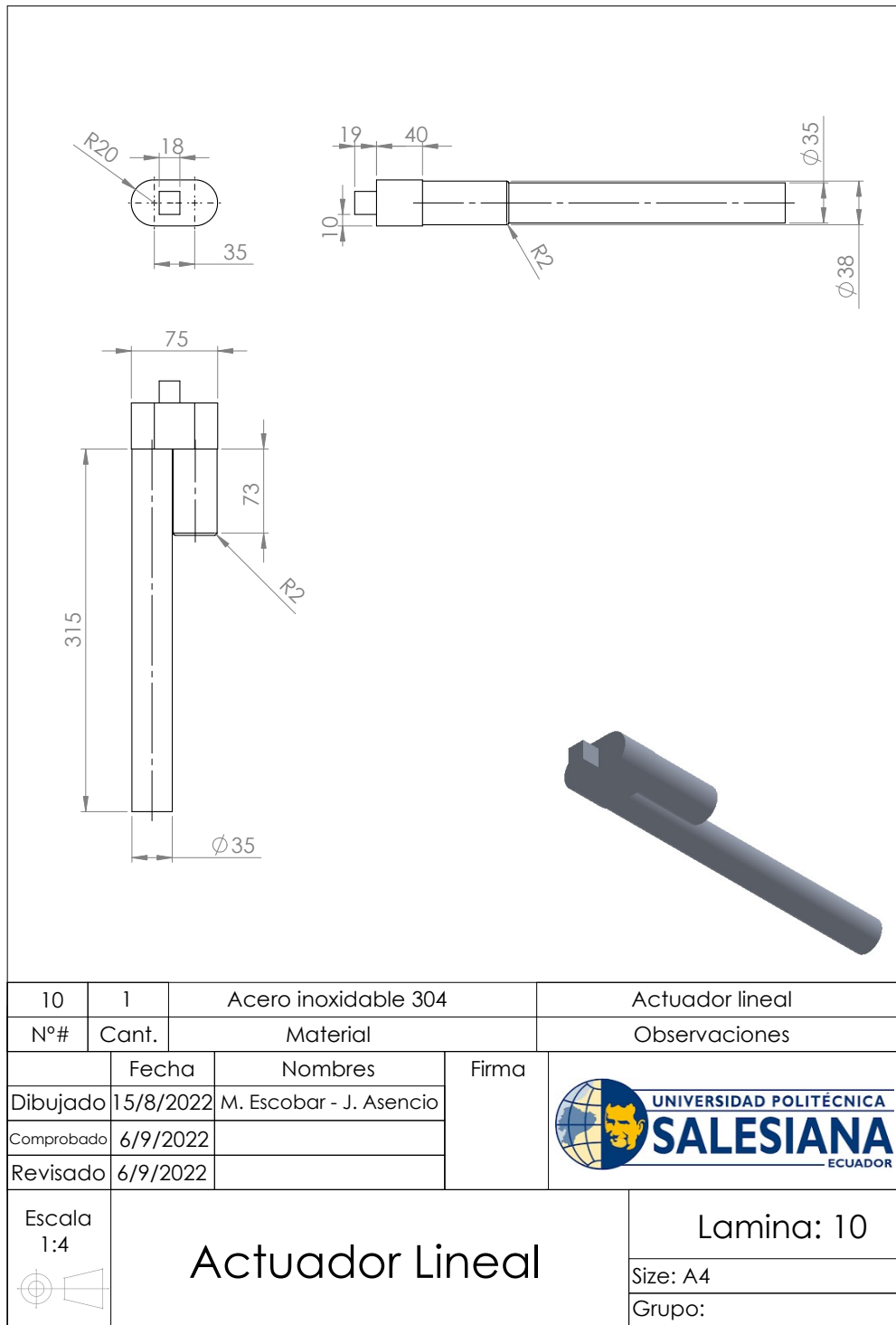


Figura 60. Actuador Lineal

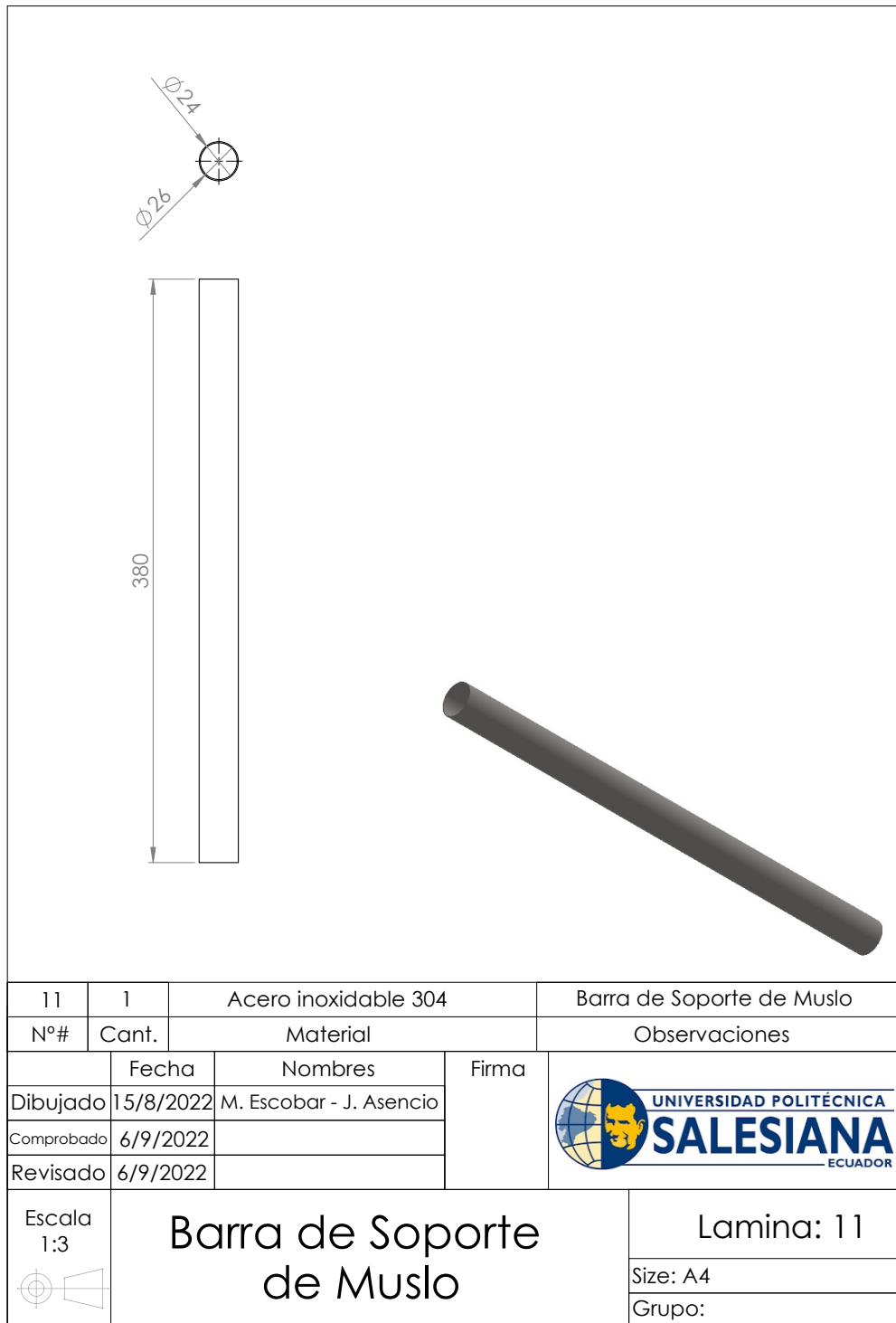


Figura 61. Barra soporte muslo

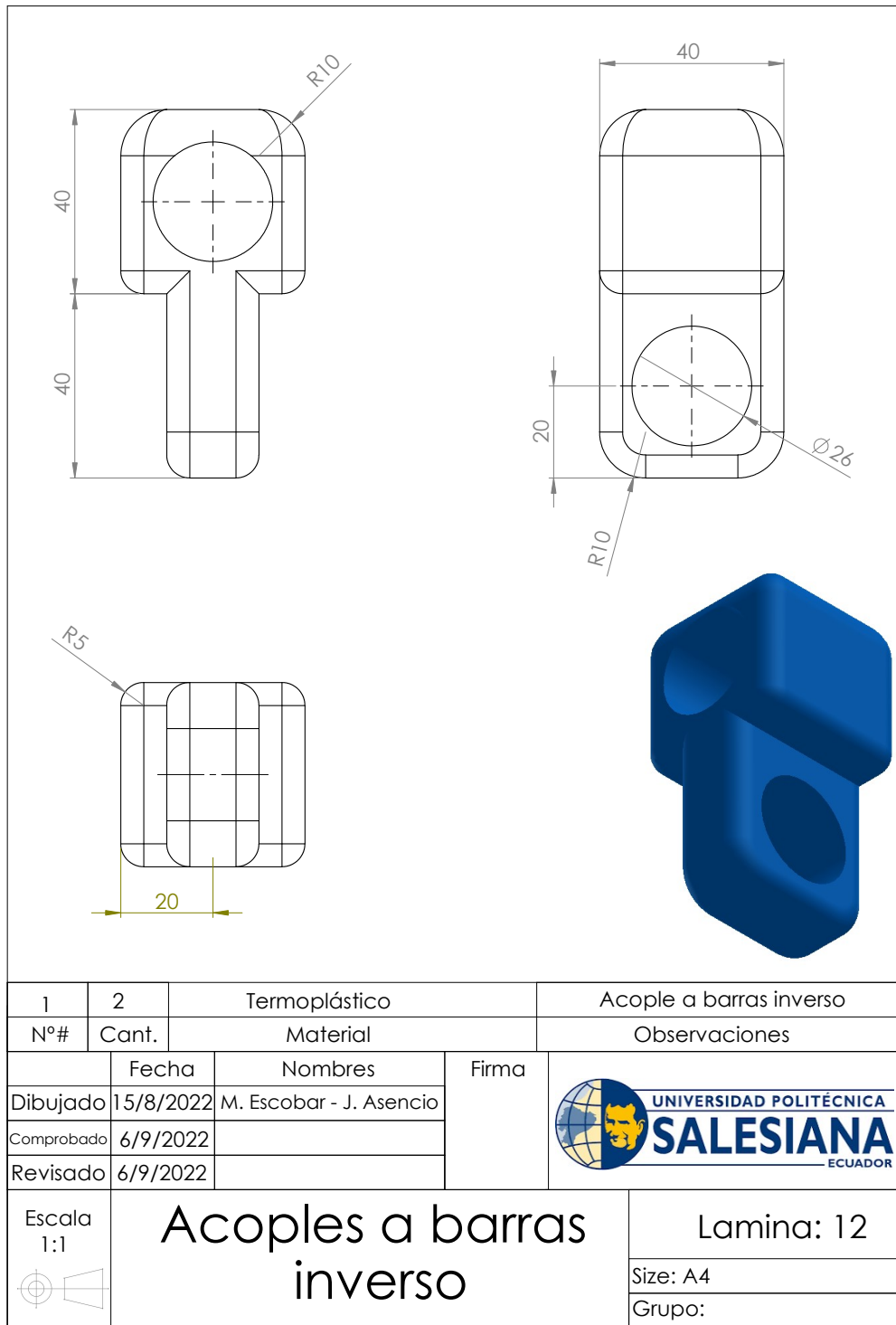


Figura 62. Acople a barras inverso

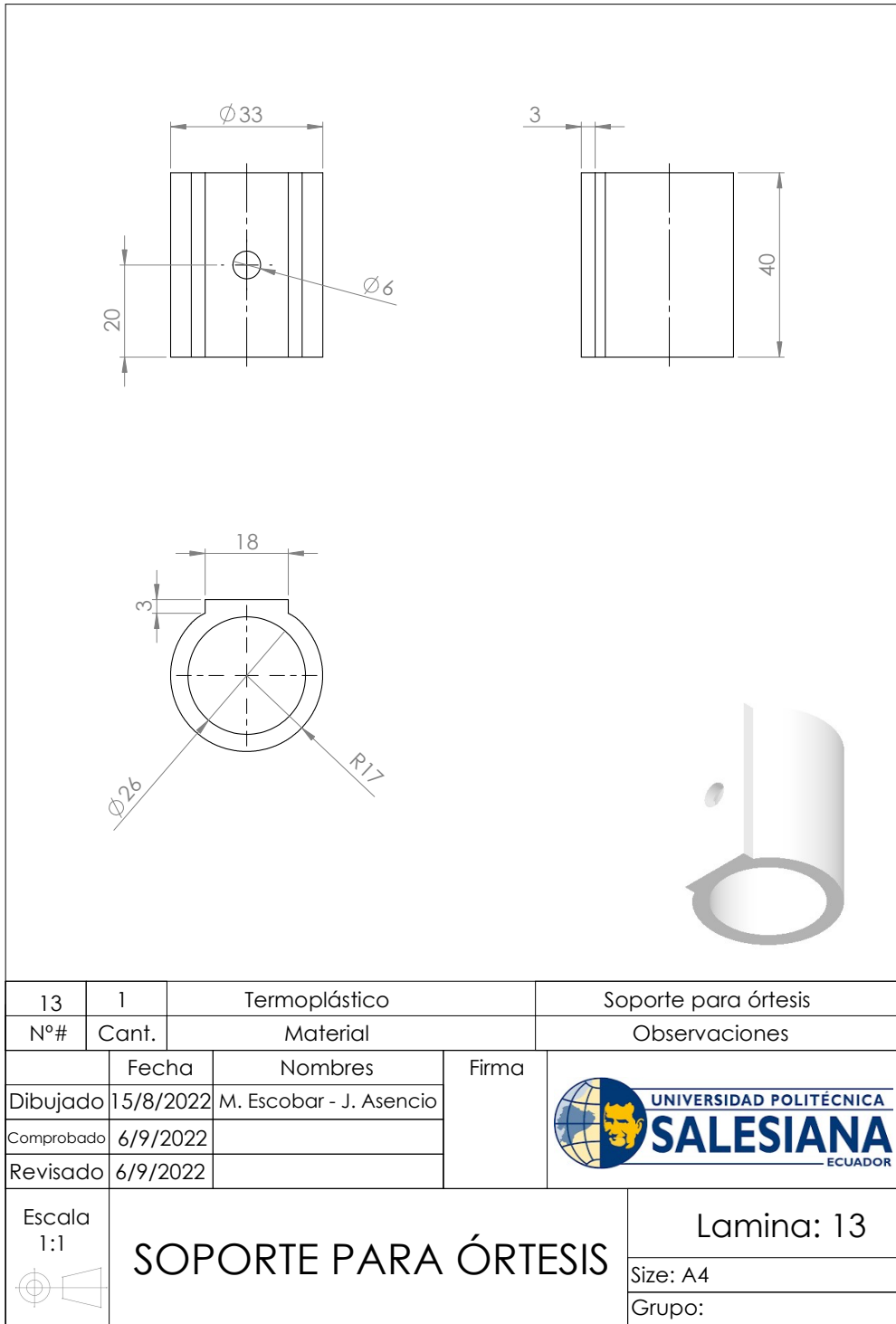


Figura 63. Soporte para ortesis

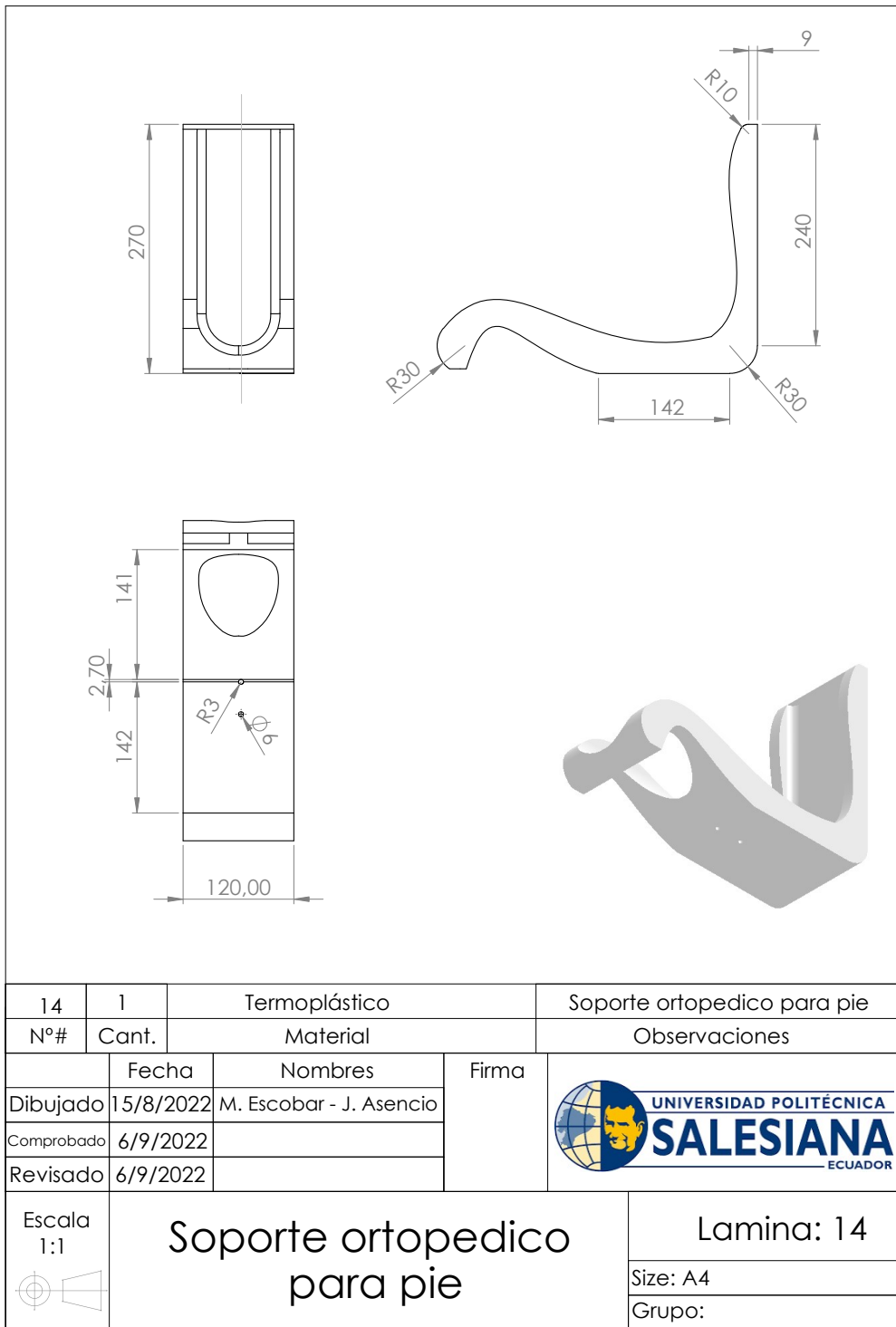


Figura 64. Soporte ortopédico para pie