



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE IBARRA**

ESCUELA DE DISEÑO

INFORME FINAL DEL PROYECTO

**“DISEÑO DE UN EQUIPO MULTIFUNCIONAL DE BAJO COSTO PARA LA
REHABILITACIÓN DE HOMBRO (TENDINITIS DEL MANGUITO ROTADOR)”**

**PREVIO EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN DISEÑO DE PRODUCTOS Y CONTROL DE PROCESOS**

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN, DESARROLLO, INNOVACIÓN E INDUSTRIA.

AUTOR/A: Jorge Luis Pinto Jaramillo

ASESOR: MSc. José Miguel Segnini Maizo

Ibarra, 2020

CERTIFICACIÓN DE ASESOR

Ibarra,

MSc. José Miguel Segnini Maizo
ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Carrera de Diseño de Productos y Control de Procesos de la Escuela de Diseño, de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f:)

MSc. José Miguel Segnini Maizo.
C.C. 1759363193

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



(f):

Jose Miguel Segnini Maizo

C.C.:175936319-3



(f):

Servio Roberto Andrade Viana

C.C.: 100129292-7



(f):

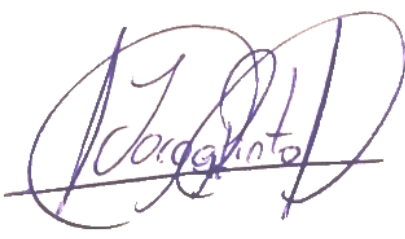
Melba Carolina Herrera Ramírez

C.C.: 0401253059

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Jorge Luis Pinto Jaramillo, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 66 del Instructivo de Trabajo de Grado de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI), que en su parte pertinente manifiesta textualmente: “Forman parte del patrimonio de la universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional de la Universidad”

Ibarra, Mayo 2020

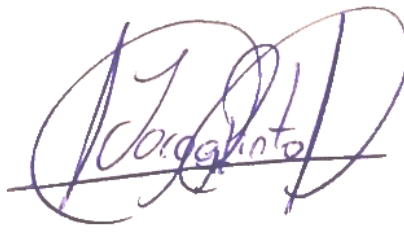
f) 

Jorge Luis Pinto Jaramillo

C.C.: 100328168-8

AUTORÍA

Yo, Jorge Luis Pinto Jaramillo portador de la cédula de ciudadanía N° 100328168-8, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes.

f) 

Jorge Luis Pinto Jaramillo

C.C.: 1003281688

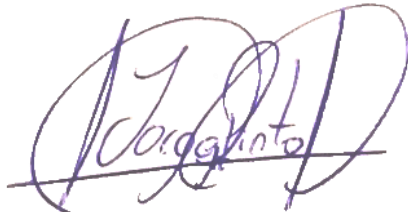
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: Jorge Luis Pinto Jaramillo, portador de Cédula de Ciudadanía. 100328168-8, autor del trabajo de grado titulado: **“DISEÑO DE UN EQUIPO MULTIFUNCIONAL DE BAJO COSTO PARA LA REHABILITACIÓN DE HOMBRO (TENDINITIS DEL MANGUITO ROTADOR)”**, previa a la obtención del título profesional de **LICENCIADO EN DISEÑO DE PRODUCTOS Y CONTROL DE PROCESOS**, en la Escuela de Diseño.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, Mayo 2020

f) 

Jorge Luis Pinto Jaramillo

C.C.: 100328168-8

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico esencialmente a mi familia, quienes estuvieron presentes y apoyándome incondicionalmente, a mis padres Tarquino Pinto y Cristina Jaramillo porque nunca dejaron de confiar en mí hasta el último momento convenciéndome a mí mismo de que con esfuerzo lo iba a lograr.

A mis hermanas: Cristina y Anita por siempre alentarme y darme ánimos, son un pilar muy importante en mi vida, su apoyo siempre fue esencial y sobre todo un empujón más para poder culminar este camino.

A todos quienes de una u otra manera han estado presentes, apoyándome, dándome un consejo, una ayuda, un aliento.

Muchas gracias

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra, a todos los distinguidos docentes de la Escuela de Diseño, en especial al MSc. José Miguel Segnini Maizo por ser mi apoyo, mentor y guía permitiéndome mirar desde otra óptica a la carrera de Diseño de Productos y Control de Procesos.

INDICE

	Pág.
Certificación del asesor	ii
Página de aprobación	iii
Acta de cesión de derechos	iv
Autoría	v
Declaración y Autorización	vi
Dedicatoria	vii
Agradecimiento	viii
Índice	xi
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xiv
Resumen	xvi
Abstract	xvii
Introducción	1
Capítulo I: Presentación del problema	
1.1. Problemática	4
1.2. Justificación	5
1.3. Alcance	6
1.4. Limitación	7
1.5. Objetivos del proyecto integrador	7
1.5.1. Objetivo General	7
1.5.2. Objetivo Especifico	7
1.6. Originalidad y Aporte	7
1.7. Estructura del proyecto	8
Capítulo II: Marco teórico	
2.1. Hombro	9
2.2. Manguito Rotador	10
2.3. Anatomía del hombro	11

2.3.1.	Huesos y articulaciones	11
2.3.2.	Ligamentos y cápsulas articular	13
2.3.3.	Músculos	13
2.4.	Biomecánica del hombro	14
2.5.	Ejes y movimientos del hombro	15
2.6.	Lesiones del hombro	17
2.7.	Tendinitis del manguito rotador	17
2.8.	Dolores y molestias	18
2.9.	Rehabilitación	18
2.9.1.	Rehabilitación del hombro	19
2.9.2.	Fases de rehabilitación	20
2.10.	Rehabilitadores de hombro	24
2.11.	Tipos de rehabilitadores de hombro	24
2.12.	Rehabilitadores de hombro existente	26
2.13.	Impresión 3D	30
2.14.	Impresoras 3D	30
2.14.1.	Materiales de impresión	31
2.15.	Programas para el diseño asistido por ordenador	33
2.16.	Diseño Inclusivo	34
Capítulo III: Metodología de diseño		
3.1.	La Propuesta de Metodología para el Diseño	36
3.1.1.	Definición estratégica: ¿Qué vamos hacer?	37
3.1.2.	Diseño de concepto: El producto a grandes rasgos	37
3.1.3.	Diseño de detalle: Afinando detalles	38
3.1.4.	Verificación y Testeo: Poniendo a prueba el diseño	38
3.1.5.	Producción: Todo listo para producir	38
3.2.	Análisis de Requerimientos	38
3.3.	Conceptualización	40
3.4.	Selección y Diseño de la Propuesta	40
3.5.	Alternativas para la forma de Diseño	41

3.5.1.	Alternativas de mecanismo	41
3.5.2.	Alternativa de modelo	43
3.5.3.	Material	45
Capítulo IV: Análisis y presentación de resultados		
4.1.	Características del rehabilitador	47
4.2.	Análisis jerárquico para selección de Alternativas	47
4.2.1.	Selección de alternativas de mecanismo	48
4.2.2.	Selección del sistema de sujeción	48
4.3.	Generación de la geometría. Propuesta con Autodesk Inventor®	50
4.3.1.	Sistema retráctil	51
4.3.2.	Carcaza	51
4.3.3.	Soporte de cintura	51
4.3.4.	Manija	51
4.3.5.	Peso de la propuesta	52
4.4.	Propuesta final	52
4.5.	Dimensiones generales de la prótesis de rodilla	53
4.6.	Gestión de Proceso de Producción	54
4.6.1.	Descripción de los procesos	54
4.7.	Construcción del prototipo	57
4.7.1.	Cómputos métricos	57
4.7.2.	Costo asociado a la construcción del prototipo	57
4.7.3.	Costos asociados a la comercialización	58
Conclusiones		60
Recomendaciones		62
Referencias Bibliográficas		63
Anexos		
Anexo A. Encuesta pacientes		70
Anexo B. Planos constructivos del rehabilitador		88
Anexo C. Marca		92

Anexo D. Manual de Usuario	94
Anexo E. Validación del Producto	98
Anexo F. Verificación y Testeo	99

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Dispositivos existentes en el mercado	26
Tabla 2.2. Dispositivos ROM y Dinámicos disponibles	27
Tabla 2.3. Dispositivos desarrollados a nivel mundial	29
Tabla 3.1. Lista de pacientes entrevistados	39
Tabla 4.1. Distribución del peso estimado del rehabilitador de hombro	52
Tabla 4.2. Cómputos métricos	57
Tabla 4.3. Presupuesto para fabricación del prototipo	57
Tabla 4.4. Presupuesto mensual de fabricación	58
Tabla 4.5. Costo de venta al público	59

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Principales componentes del hombro	9
Figura 2.2. Manguito rotador	10
Figura 2.3. Huesos del hombro	11
Figura 2.4. Articulaciones del hombro	11
Figura 2.5. Ligamentos y cápsula articular	12
Figura 2.6. Anatomía muscular del hombro	13
Figura 2.7. Ejes de movimiento: (T) transverso (A) antero-posterior (L) vertical	14
Figura 2.8. Movimiento del brazo (Flexo extensión del hombro)	15
Figura 2.9. Movimiento de brazo: aducción	15
Figura 2.10. Movimiento de brazo: abducción	16
Figura 2.11. Fase 1 de rehabilitación de hombro	19
Figura 2.12. Fase 1 (Movimiento limitado del hombro)	20
Figura 2.13. Movimiento activo-asistido de rotación	21
Figura 2.14. Ejercicios de flexo extensión, abducción, aducción	22
Figura 2.15. Ejercicios de potenciación infra espinoso, redondo y supra espinoso	22
Figura 2.16. Dispositivo CPM comercial	23
Figura 2.17. Rehabilitador dinámico comercial	24
Figura 2.18. Esquema del Diseño Inclusivo	31
Figura 3.1. Metodología de diseño propuesta por el INTI	33
Figura 3.2. Metodología del diseño utilizada	34
Figura 3.3. Propuesta mecánica 1, exoesqueleto	39
Figura 3.4. Propuesta mecánica 2, sistema retráctil	40
Figura 3.5. Propuesta mecánica 3, sistema fijo	40
Figura 3.6. Propuesta modelo 1, Sujeción de hombro	41
Figura 3.7. Propuesta modelo 2, Sujeción de cintura	42
Figura 4.1. Resultados de encuestas con respecto a las características del rehabilitador	44

Figura 4.2.	(M1) Exoesqueleto, (M2) Sistema retráctil, (M3) Sistema de ligas: Propuestas realizadas	45
Figura 4.3.	Resultados para la síntesis del mecanismo	46
Figura 4.4.	(M1) Sujeción del hombro, (M2) Sujeción de cintura: Propuestas realizadas	46
Figura 4.5.	Resultados para la síntesis del sistema de sujeción del modelo	47
Figura 4.6.	Geometría propuesta del rehabilitador y sus partes	48
Figura 4.7.	Imagen fotorrealista	50
Figura 4.8.	Dimensiones generales del rehabilitador de hombro (en milímetros)	50
Figura 4.9.	Fabricación de carcaza y manija en impresora 3D	52
Figura 4.10.	Proceso de fabricación de la prótesis	53

RESUMEN EJECUTIVO.

Los hombros son las estructuras que conectan los brazos con el tronco, la articulación del hombro es compleja puesto que está formada por varias articulaciones, todas ellas trabajan conjuntamente para permitir un movimiento armónico global, si alguna de estas articulaciones falla, el movimiento del hombro se verá afectado, lo cual implica una disminución de la calidad de vida. Cuando el cuerpo humano sufre algún tipo de luxación, enfermedad degenerativa, accidente vial, laboral o deporte realizado en forma inadecuada puede culminar con una intervención quirúrgica y en la mayoría de los casos requiere de rehabilitación de hombro. Para el año 2018, Ecuador registró 11.426 personas con algún tipo de trauma en el hombro. Si bien existen dispositivos disponibles en el mercado nacional, distribuidos por casas comerciales, absolutamente todas son productos de importación con altos costos de adquisición y mantenimiento en el país. En esta investigación, se presenta un diseño conceptual de un rehabilitador de hombro dinámico (entrada motriz dada por el usuario), con restricciones asociadas al uso de geometrías sencillas, material disponible en la zona y de bajo costo, que contribuye con la progresiva rehabilitación sin supervisión médica. Para esto, se propone un proceso de diseño donde se presentan alternativas de mecanismos y formas para seleccionar las más adecuadas según los requerimientos planteados. Posteriormente, utilizando programas de diseño, ingeniería y manufactura (CAD, CAE y CAM) se realizan simulaciones para definir un rehabilitador de hombro, capaz de soportar los movimientos dados por el paciente. Los resultados obtenidos, muestran que se puede materializar un diseño basada en un mecanismo sencillo y con materiales disponibles en el mercado nacional a un precio económicamente bajo, que servirá para las últimas fases de rehabilitación de pacientes, cuando este ya cuenta con algo de fuerza en la extremidad afectada.

Palabras Claves: Dispositivo; hombro; rehabilitación dinámica, modelado, CAD-CAE.

ABSTRAC

The shoulders are the structures that connect the arms to the trunk. The shoulder joint is complex since it is formed by several joints. All of them work together to allow a global harmonic movement. If any fails, shoulder movement will be affected. This implies a decrease in the quality of life when the human body suffers some type of dislocations, degenerative diseases, road accidents, work or sports that can culminate or not with a surgical intervention and in most cases requires a rehabilitation of shoulder. For the year 2018, Ecuador registered 11,426 people with some type of shoulder trauma. Although there are devices available in the national market, distributed by commercial houses, absolutely all of them are imported products with high acquisition and maintenance costs. In this investigation, a conceptual design of a dynamic shoulder rehabilitator (motor input given by the user) is presented, with restrictions associated with the use of simple geometries, material available in the area and low cost, which contributes to the progressive rehabilitation without medical supervision. For this, a design process is proposed where alternatives of mechanisms and forms are presented to select the most appropriate ones according to the proposed requirements. Subsequently, using CAD-CAE programs, validated numerical simulations are performed to define a shoulder rehabilitator, capable of supporting the movements and forces given by the patient without permanently deforming. The results obtained show that a design based on a simple mechanism and with materials available in the national market can be materialized at an economically low price, supported by CAD - CAE and CAM programs.

Keywords: Device; shoulder; dynamic rehabilitation, modeling, CAD-CAE.

INTRODUCCIÓN

La articulación del hombro es una de las más importantes, su valor radica en que este sitio es el puente de unión entre el brazo y el tronco (Sánchez, 2018), permite ejecutar múltiples actividades que incluyen movimientos de flexión y extensión, movimientos de abducción-aducción, movimientos de rotación y por último de circunducción, donde prácticamente no existe una actividad cotidiana que no involucre utilizar alguno de estos movimientos. Lo anterior, implica un decremento de la calidad de vida cuando el cuerpo humano sufre luxaciones, esguinces, torceduras de articulaciones, ligamentos del hombro, y otras enfermedades asociadas a la misma, acompañadas con accidentes viales, laborales o por práctica de algún deporte que pueden culminar o no con una intervención quirúrgica y en la mayoría de los casos requiere de una rehabilitación de hombro, donde una persona o dispositivo moviliza las extremidades sin ningún esfuerzo del paciente, así que la articulación se somete a un rango de movimiento angular preestablecido y por un período de tiempo determinado.

En el mercado internacional y nacional, existen rehabilitadores de hombro, estos dispositivos pueden utilizar electrónica, hidráulica y mecánica para controlar los movimientos del hombro, tal como se muestra en (Kinetec, 2019), (Canwell Medical LTD, 2019), (Ortoweb Medical SL, 2019), (Kondak, 2000), (Nextan PTE, 2019), (Easytech, 2019), además muestra la necesidad de realizar investigaciones direccionadas a dispositivos que sean de uso portátil, permitiendo la rehabilitación del movimiento de extremidades superiores sin necesidad de trasladarse a centros de rehabilitación.

Bajo la luz de lo anterior, se han desarrollado investigaciones direccionadas a simular el movimiento natural del hombro mediante diferentes mecanismos, tal como se detalla en (Beach, 2012), (Brotzman, 2005), (Cleveland, 2015), (Fierro, 2019), (Grunenthal, 2019), (Macao & Nacipucha, 2016), (Plus, 2017), (Surgeons, 2012), (Therapy, 2015). En las universidades ecuatorianas se definen netamente investigaciones que conllevan al desarrollo de técnicas de rehabilitación o

pruebas de eficiencia de estos mismos, todas direccionadas netamente al área de fisioterapia o traumatología (García Quiñónez, 2013), (Aguirre Ortiz, 2014). En este mismo contexto, desde hace una década, se han desarrollado patentes que muestran la evolución de los rehabilitadores con distintas configuraciones geométricas que van desde sistemas netamente mecánicos hasta sistemas mecatrónicos avanzados, ver por ejemplo, (EE.UU Patente nº US5252102A, 1992), (EE.UU Patente nº US8529479B2, 2009), (EE.UU Patente nº US8905950B2, 2009), (EE.UU Patente nº US7331911B2, 2007), (EE.UU Patente nº US7717832B2, 2007), (China Patente nº CN301358006S, 2010), (EE.UU Patente nº US7955285B2, 2016), (EE.UU Patente nº US6007500A, 2018).

Varias de estas patentes e investigaciones presentan un sistema con entrada motriz dada por motores y/o actuadores. Sin embargo, no muestran un dispositivo donde la entrada motriz es dada por el mismo paciente y por lo tanto, es importante desarrollar mecanismos que sean capaces de cubrir esta necesidad.

En esta investigación, se presenta un diseño conceptual de un rehabilitador de hombro, con restricciones asociadas al uso de geometrías sencillas, material disponible en la zona y de bajo costo, que contribuye con la progresiva rehabilitación sin supervisión médica.

Considerando estos aspectos, se utilizará la propuesta de (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018) donde plantean un proceso de diseño, con alternativas de mecanismos, formas y materiales para seleccionar las más adecuadas según los requerimientos proyectados. Posteriormente, utilizando programas computacionales se realizan simulaciones para definir la geometría del dispositivo, que sea capaz de soportar los movimientos dados por el paciente sin deformarse permanentemente.

Los resultados obtenidos, muestran que se puede desarrollar un dispositivo rehabilitador de hombros de bajo costo, que cuente con un mecanismo de funcionamiento sencillo, fabricado con materiales disponibles en el mercado

nacional, que servirá para las últimas fases de rehabilitación del paciente, cuando este ya cuenta con algo de fuerza en la extremidad afectada.

CAPÍTULO I

PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

En el desarrollo del presente capítulo se expone los diferentes estudios que se han realizado para determinar la relevancia de este diagnóstico, donde damos a conocer la necesidad de diseñar un equipo rehabilitador de hombro, tomando en cuenta que este tipo de padecimiento es tratado por fisioterapeutas con diferentes métodos.

1.1. Problema

En Ecuador existen muchas dolencias físicas vinculadas a problemas en el hombro (estadísticamente el INEC reportó 8861 casos para el año 2018), la “tendinitis del manguito rotador” es una de los más comunes, según el Lic. Kléver Martínez quien es el Líder de Rehabilitación y Terapia Física del Hospital San Vicente de Paul de la ciudad de Ibarra, estos malestares abarcan aproximadamente el 70% de los casos tratados. El manguito de los rotadores es un grupo de músculos y tendones que van pegados a los huesos de la articulación del hombro, encargados de los movimientos y la estabilidad de los brazos. Cuando estos tendones, se inflaman producen dolores agudos y rigidez en esta zona (Gómez Acevedo, 2014).

El dolor de hombro es una molestia común en atletas y trabajadores que realizan actividades que exigen la utilización de los miembros superiores por encima de la cabeza, por ejemplo, el tenis, natación, baloncesto, ecua vóley, estibadores, obreros, entre otros (OrthoInfo, 2012).

Si este malestar no es tratado con cuidado y a tiempo puede llegar a complicaciones mayores, en las primeras etapas de esta dolencia se puede llegar a sufrir fuertes punzadas las cuales no dejaran que el hombro se mueva de una manera óptima.

En la mayoría de los casos, inicialmente se recurre al tratamiento no quirúrgico, mediante terapias físicas para restablecer el movimiento normal del hombro,

cuando las dolencias persisten, el médico podría recomendar una cirugía, luego de la cual el paciente tendría que someterse también a una etapa de rehabilitación postquirúrgica.

El desarrollo del proyecto ofrece la posibilidad de diseñar un dispositivo de bajo costo cuya función principal sea la recuperación de la movilidad del hombro para personas que presentan lesiones pre o postoperatorias con una rehabilitación dinámica.

En el mercado nacional, existen dispositivos y máquinas diseñados para rehabilitar el hombro, ver (Flex-Mate®, 2017), (SurgiCare, 2018), (Kinetec®, 2018), en su totalidad, son equipos traídos del exterior, lo que implica cargos arancelarios por procesos de nacionalización, cargos de adiestramiento de personal y servicio técnico, por nombrar algunos. Lo que genera un incremento del costo inicial de por lo menos un 40%.

Ocasionando que el costo comercial en el Ecuador de estos equipos oscile entre US\$1100 (JM MEDICAL, 2019) y US\$8000 ver (SurgiCare, 2018).

Son pocos los centros de rehabilitación del país que cuentan con equipos de rehabilitación pasiva de hombro, en la mayoría de los centros utilizan la rehabilitación convencional con masajes, bandas elásticas o simplemente remiten a los pacientes a centros de acondicionamiento físicos (gimnasios). Es por ello, que en esta investigación se diseñará un dispositivo de auto rehabilitación que ayude en una fase en la cual el paciente pueda realizar esfuerzo con el hombro, con el valor agregado de ser un equipo de bajo costo. Y así, desarrollar un producto beneficioso para la sociedad y que promueva la innovación y desarrollo de productos en el área médica (Chagna, 2017).

1.2. Justificación

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) muestran que si existen varios referentes para este caso como son: lesiones del hombro, traumatismo superficial del hombro y del brazo, herida del hombro y del brazo, traumatismo de nervios a nivel del hombro y del brazo, traumatismo de tendón y músculo a

nivel de hombro y del brazo y otras afectaciones del hombro. De esta manera se obtuvo los datos de 6.870 pacientes para el 2013 (INEC, 2013); 7.855 para el 2014 (INEC, 2014); 8.335 pacientes para el 2015 (INEC, 2015); 8.118 pacientes para el 2016 (INEC, 2016); 8.659 pacientes para el 2017 (INEC, 2017) y 8.861 pacientes para el 2018 (INEC, 2018). Al momento no existen estadísticas del año 2019 por lo cual realizamos una extrapolación la cual nos determina que existirá una cantidad de 9.065 pacientes aproximadamente teniendo un aumento de un 2.30% para este año.

Para poder realizar proyectos de desarrollo e innovaciones se debe tener en cuenta los argumentos necesarios para poder acoger a todo el sistema de movilidad del hombro, que si se encuentra vulnerable impide realizar actividades cotidianas.

Con estos antecedentes, se considera el diseño de un rehabilitador para que sea este quien de asistencia en el proceso de mejorar al hombro, y de esta manera un reintegro de la población que sufre esta dolencia de una manera óptima a su labor diaria.

Se pretende desarrollar un rehabilitador de bajo costo, con materiales que se puedan adquirir fácilmente y de utilización directa del paciente sin que requiera la ayuda de otros para poderla usar. A partir de esto se busca mayor independencia de las personas en la ejecución de los diversos roles, principalmente en aquellos quienes tiene como una de sus actividades principales o es de gran importancia en la movilidad (Vaca, 2019).

1.3. Alcance

El proyecto busca recopilar datos obteniendo y analizando información, planteando diferentes propuestas de diseño que se acoplen a las medidas antropométricas y ergonómicas integrando diferentes conocimientos básicos de mecanismo, utilizando programas asistidos por computador que nos ayudaran a

desarrollarlos de una manera óptima para que se pueda cumplir con la rehabilitación.

1.4. Limitaciones

El equipo desarrollado sirve para la rehabilitación post operatoria, una vez que el paciente ya puede mover ligeramente la extremidad y puede auto ejercitarse.

La poca apertura de los centros de rehabilitación en la ciudad de Ibarra para apoyar propuestas investigativas como esta.

1.5. Objetivos del proyecto integrador

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un equipo de bajo costo que ayude a la rehabilitación del manguito rotador tomando en cuenta la antropometría de los usuarios.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar referentes comerciales de equipos para la rehabilitación del manguito rotador, así como, realizar una investigación documental de los aportes de otras universidades ecuatorianas en este tema.
- Realizar encuestas y entrevistas a los expertos y/o usuarios, para así, completar la lista de requerimientos para la elaboración de propuestas.
- Realizar propuestas de diseño que cumplan con los requerimientos planteados e investigados anteriormente.
- Caracterizar la propuesta más ventajosa de acuerdo a diversos criterios de selección.
- Realizar un prototipo 3D de la propuesta seleccionada.

1.6. Originalidad y Aporte.

En esta investigación incorporamos un dispositivo de apoyo para la rehabilitación de hombro, de la misma manera es un paso para publicar un artículo científico y

dirigirla a una patente de diseño. De la misma manera se incorporan dos aspectos:

- Introducir una metodología de diseño poniendo en uso programas de simulación numérica (CAD, CAE y CAM).
- Plantear una metodología de diseño que introduzca nuevos elementos de diseño e ingeniería, el cual integra formas orgánicas y minimalistas obteniendo una estructura mecánica más estética y amigable (Chagna, 2017).

1.7. Estructura del proyecto.

La investigación desarrollada consta de cinco capítulos, cada uno de los cuales pretenden alcanzar los objetivos planteados.

En el primer capítulo se detalla la problemática, justificación, alcance, limitaciones, objetivos, la descripción del trabajo y su contribución a la sociedad. En el segundo capítulo describimos el Marco Teórico, en el cual se presenta de forma corta la sustentación teórica para el desarrollo del dispositivo y que va acompañado de la situación actual de los dispositivos rehabilitadores del hombro que ya se encuentran en fase de comercialización, también académicamente y patentes industriales. En el tercer capítulo abordamos una metodología de diseño, por la cual procedemos a desarrollar diversas soluciones y de esta manera incorporamos a expertos para el debido asesoramiento particular en las áreas traumatológica y fisioterapéutica, obteniéndose la información pertinente para la conceptualización y proceso de diseño, empleando paquetes computarizados que ayudaran a escoger el tipo de material a utilizarse tomando en cuenta también la estética del diseño. En el cuarto capítulo se muestran los resultados en las fases de diseño que permiten definir una propuesta de bosquejo y lograr de esta manera generar el esquema de detalle de dicha propuesta, la que incluye el dimensionamiento del mecanismo y estructura del dispositivo. Para concluir se desarrollan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este apartado se describirán los términos asociados con la investigación, así como los dispositivos referenciales existentes en el mercado, desarrollo de equipos análogos por institutos y Universidades y algunos productos patentados que sirven para referenciar el estado inventivo en que se encuentran los dispositivos como el propuesto en esta tesis.

2.1. Hombro

El hombro es una de las estructuras del cuerpo humano que se encuentran compuesta por articulaciones y estas deben conseguir perfecto equilibrio entre movilidad y estabilidad, según (García Quiñónez, 2013) la función normal del complejo articular del hombro requiere los movimientos coordinados de las articulaciones esternoclavicular, acromio-clavicular y glenohumeral, así como la articulación escapulo torácica y la existencia de una interface de movilidad entre el manguito de los rotadores y el arco coracoacromial supra yacente.

El objetivo primario del hombro es situar la mano en el espacio para que puedan realizar las actividades de la vida cotidiana, en atletas este funciona como un embudo el cual trasfiere las fuerzas de las extremidades inferiores hacia el brazo, antebrazo y mano.

El sistema esquelético que compone el hombro está constituido por tres huesos principales que son: (Húmero) parte superior del brazo, el omóplato (escápula) y la denominada clavícula (OrthoInfo, 2012), por medio de estos el hombro puede realizar movimientos en diversas direcciones.

Los músculos que se encuentran en la parte superior de la espalda como el trapecio, elevador del omóplato, los romboides y el serrato anterior a los cuales se los denomina estabilizadores escapulares se vuelven la base de la articulación del hombro (OrthoInfo, 2012).

La estabilidad y funcionamiento del hombro está determinada principalmente en un grupo de músculos que al agruparse forman un conjunto denominado Manguito Rotador, ya que este forma una cobertura alrededor de la parte superior del brazo y lo sujeta al omóplato (OrthoInfo, 2012). En la figura 2.1 muestra los componentes principales del hombro



Figura 2.1 Principales componentes del hombro. Extraído de (OrthoInfo, 2012)

2.2. Manguito Rotador

El hombro no depende únicamente de los ligamentos, la arquitectura del mismo y la musculatura, sino también de los ligamentos que son indispensables para este (Kuman, 2002).

El manguito rotador es la parte más importante para la estabilidad del hombro, ya que este movimiento está dado por el funcionamiento de dichos ligamentos, lo que hace que se vuelva una parte crítica del miembro superior (Kuman, 2002).

Bajo esta premisa y las reportadas por el Lic. Klever Martínez, las dolencias del manguito rotador se convertirán en el eje central de esta investigación.



Fig. 2.2 Manguito Rotador. Extraído de (Plus, 2017)

2.3. Anatomía del hombro

El hombro está compuesto por huesos, ligamentos, tendones y músculos, los cuales son los que proporcionan la estabilidad para que el hombro realice todos los movimientos requeridos diariamente (Blausen Medical, 2016). A continuación, describimos cada uno de las partes que lo componen:

2.3.1. Huesos y Articulaciones.

El hombro se encuentra conformado por 3 huesos los cuales los describimos a continuación y se visualizan en la figura 2.3 (Giménez Belmonte, s.f.):

- **Húmero (Hueso del Brazo).** - Hueso largo que forma parte del esqueleto del brazo, en su parte superior tiene la articulación glenohumeral y en la parte inferior la articulación húmero-cubito-radial o codo.
- **Escápula (omóplato).** - Hueso plano que se encuentra situado en la parte posterior y superior del tórax.
- **Clavícula.** - Es un hueso largo el cual está ubicado transversalmente entre el esternón y el omóplato, tiene forma de S alargada.

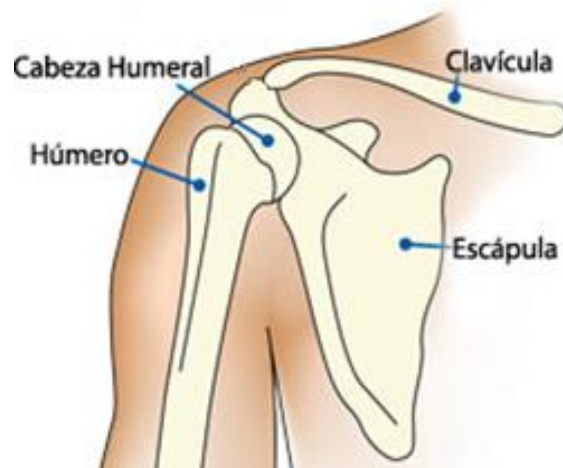


Figura 2.3 Huesos del hombro. Extraído de (Fierro, 2019)

Se contempla que la principal articulación de hombro es glenohumeral, la cual está compuesta por glenoideas y por la cabeza del húmero. (Fierro, 2019) Que se describen en la figura 2.4. Otras articulaciones que se encuentran en el hombro son:

- **Acromioclavicular.** - Se encuentra compuesta por la unión entre la clavícula y la escápula.
- **Externoclavicular.** - Es la unión de la clavícula con el esternón.

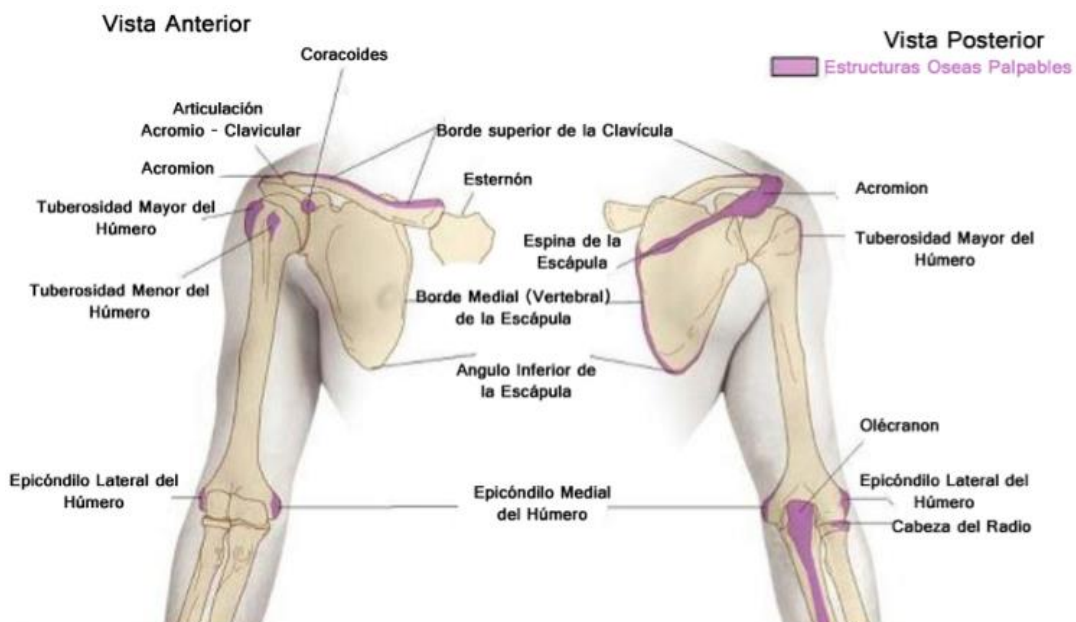


Figura 2.4 Articulaciones del hombro. Extraído de (Fierro, 2019)

2.3.2. Ligamentos y Cápsula Articular.

A los ligamentos se los define como estructuras que unen a los huesos entre sí, por otra parte, la cápsula articular es quien envuelve una articulación herméticamente. Está formada por un grupo de ligamentos los cuales conectan el húmero con las glenoideas (figura 2.5), ya que por medio de estos ligamentos el hombro puede realizar las tareas con un amplio grado de movilidad sin que se vea afectado con luxaciones (Fierro, 2019).

Por otra parte, la clavícula se encuentra compuesta por:

- **Al acromion:** Compuestos de 4 ligamentos Acromio – claviculares, superior, inferior, posterior y anterior.
- **A la coracoides:** de dos ligamentos, ligamento Conoide, ligamento trapezoide.

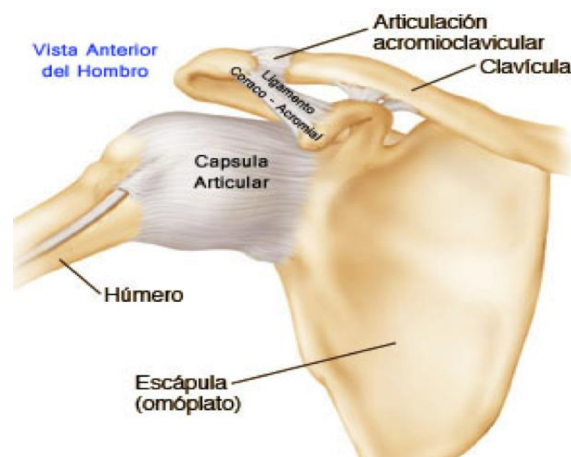


Figura 2.5 Ligamentos y Cápsula Articular. Extraído de (Fierro, 2019)

2.3.3. Músculos.

El grupo muscular más relevante del hombro está constituido por el manguito rotador su significado es “envoltura”, este significado es apropiado para describirlo ya que está conformado por tendones que ayudan a su estabilidad y movimiento (figura 2.6) (Fierro, 2019).

El grupo muscular del manguito rotador es:

- **Músculo Supra – espinoso.** - Su función principal es elevar el brazo.
- **Músculo Infra – espinoso.** - Rotación del brazo hacia afuera.
- **Músculo redondo menor.** - Rotación del brazo hacia afuera.
- **Músculo Sub – escapular.** - Rotación del brazo hacia adentro.
- **Músculo Deltoides.** - Se considera el motor del hombro por la fuerza que posee y su función de levantar al brazo.

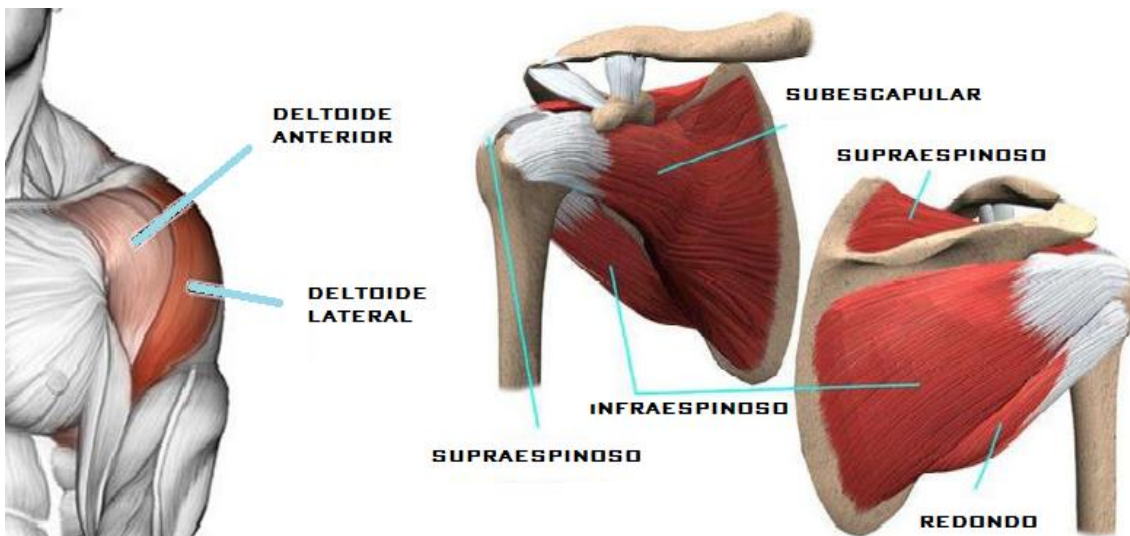


Figura 2.6 Anatomía muscular del hombro. Extraído de (Perles, 2016).

2.4. Biomecánica del hombro

El hombro consta del complejo articular que en mayor porcentaje se encuentra en movimiento, dado que las articulaciones realizan movimientos de flexión, extensión, separación, aproximación, circunducción, rotaciones. Dado esto el hombro tiende a sufrir con mayor tendencia luxaciones y de esta manera necesitando la acción de los músculos del manguito rotador ya que estos promueven estabilidad (García Quiñónez, 2013).

Ahora se debe tomar en cuenta que las alteraciones biomecánicas son la principal causa de lesiones tomando como prioridad a las del manguito rotador. Esto nos da a entender que por la estructura el hombro y sus movimientos repetitivos sufren mayor riesgo de sufrir una lesión.

2.5. Ejes y movimiento del hombro.

Según (García Quiñónez, 2013), el hombro tiene 3 ejes de movimiento que se describen a continuación (figura 2.7):

- **Antero-posterior.** - eje que se sitúa en el eje sagital para medial (va desde atrás del cuerpo hacia adelante, permite realizar movimientos de abducción (separación) y aducción (aproximación)).
- **Transversal.** – que se mueve de un hombro a otro incluyendo el plano frontal, este movimiento nos permite los movimientos de flexo-extensión.
- **Vertical.** – Se encuentra ubicado perpendicularmente y parte de una separación inicial de 90°.

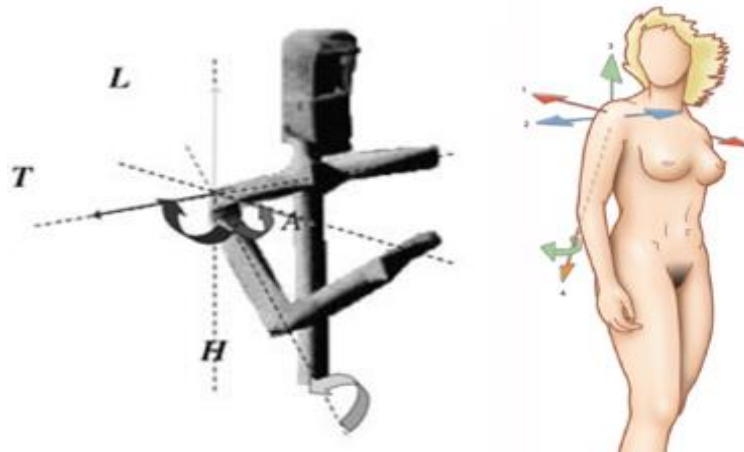


Figura 2.7 Ejes de movimiento: (T) transverso (A) Antero-posterior (L) Vertical. (Álvarez, 2018) Extraído de (García Quiñónez, 2013)

Por otra parte (Álvarez, 2018) detalla los tipos de movimientos del hombro que se generan a partir de los ejes que se describió anteriormente:

- **Flexo extensión.** - Se ejecuta en un plano sagital (figura 2.8), generando un movimiento de 45 a 50°, al contrario de la flexión que genera un movimiento gran amplitud.

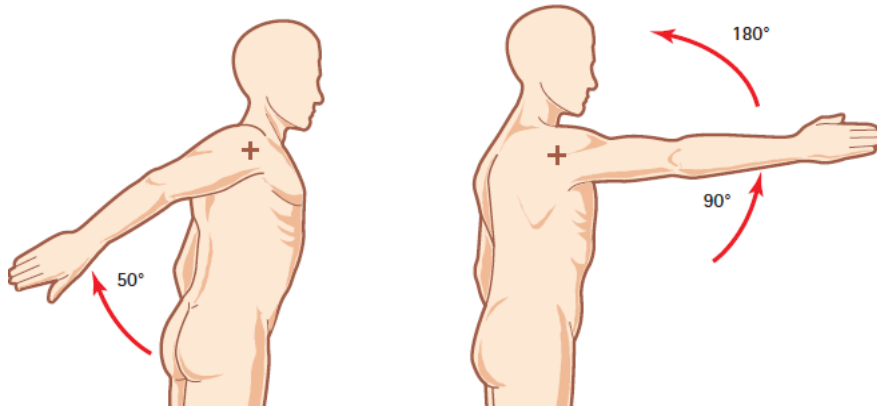


Figura 2.8 Movimiento del brazo (Flexo extensión del hombro). Extraído de (Álvarez, 2018).

- **La aducción.** - se realiza en un plano frontal, sin embargo, no es posible realizar una aducción pura por la presencia del tronco. Por esta razón se realiza parcialmente (figura 2.9) que viene acompañado de un movimiento de flexión o extensión.

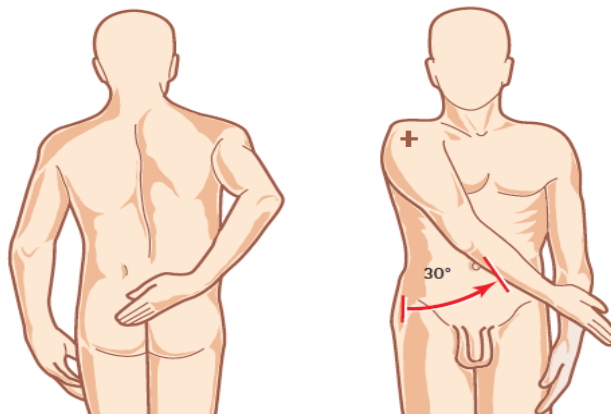


Figura 2.9 Movimiento del brazo: Aducción. Extraído de (Álvarez, 2018).

- **La abducción.** - Actual en el plano frontal, pero es contrario al de aducción, abarcando al eje de rotación antero-posterior (figura 2.10). Se desarrolla alejando el brazo del cuerpo, así mismo actúan los músculos glenohumeral de 0 a 60° y posteriormente la articulación escapula torácica de los 60 a 120°.

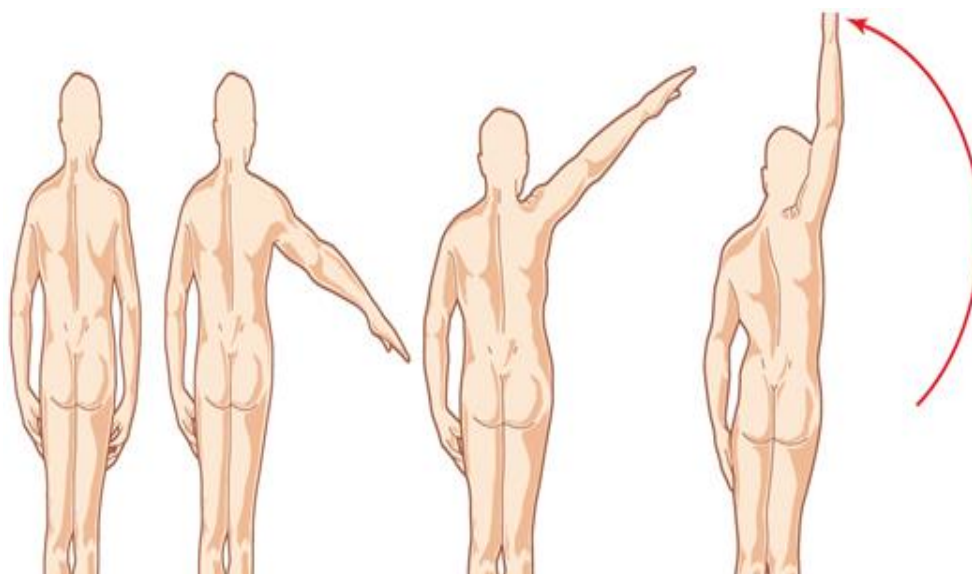


Figura 2.10. Movimiento de brazo: Abducción. Extraído de (Álvarez, 2018)

2.6. Lesiones del hombro

Ya que el hombro está compuesto por varias estructuras es vulnerable a diversos problemas, llegando a afectar a un gran porcentaje de la población. En el ámbito deportivo está considerado un 7% de las lesiones y por este hecho se limita a los atletas en sus capacidades (Álvarez, 2018).

Por otra parte, no solo los deportistas sufren de estas dolencias, hechos como el sobreesfuerzo o labores de la vida cotidiana influyen directamente en esta problemática. Según (Beach, 2012), las actividades que conlleven levantar 10 kilogramos o más sobre la altura normal del hombro por un tiempo de 15 minutos por día llega a ser un factor que afecta en mayor porcentaje, por otra parte las áreas laborales que tienen mayor afectación son el sector industrial, se servicios, gubernamentales, educación y salud. (Enfría, 2007). El hombro que se encuentra lesionado es detectado fácilmente por las complicaciones y dolores que se presentan en el diario vivir.

2.7. Tendinitis del manguito rotador

Es una patología por el sobre uso que conlleva dolor y discapacidad que se establece centralmente en el hombro y en la parte superior del brazo, también

lleva el nombre de pinzamiento o bursitis. Cualquiera de estos nombres describe la misma condición que es causada directamente por la utilización del hombro y brazo en tareas repetitivas (Brotzman, 2005).

En deportes y actividades de vida cotidiana que se realiza una actividad por encima de la cabeza se puede determinar que el manguito rotador se encuentra frecuentemente obligado a mantener la cabeza del húmero centrada en la cavidad glenoidea, de esta manera previene el desplazamiento patológico que causan las fuerzas extremas que se presentan en el hombro (García Quiñónez, 2013).

2.8. Dolores y molestias

Por lo general las personas no buscan tratamiento hasta que las molestias son prolongadas y se vuelven insoportables lo que conlleva dolores nocturnos, pérdidas de fuerza o dificultad significativa para realizar actividades cotidianas (Armstrong, 2011).

Según (Cleveland, 2015), hay momentos en los que los dolores de una lesión del hombro se confunden con dolores de cuello. Estos se deben a que los dolores radican de las terminaciones nerviosas del hombro, las cuales transmiten impulsos que pasan por el cuello en su camino a la corteza sensorial del cerebro donde la información es procesada (Kessler, 2015).

2.9. Rehabilitación

Según (Aguirre Ortiz, 2014) la rehabilitación se basa en la estimulación del cuerpo basándose en ejercicios terapéuticos combinando con medios físicos como calor, frío, agua, masajes y electricidad para de esta manera resolver problemas de dolor, prevención y recuperación de fuerza, movilidad y coordinación.

2.9.1. Rehabilitación del hombro

La rehabilitación por el cual se busca recuperar la movilidad, fuerza y funcionamiento acorde de una parte del cuerpo. En el caso de la rehabilitación de articulaciones se trata de recuperar los movimientos cotidianos e indoloros unido de la estabilidad y fuerza propia, comúnmente se utilizan métodos termofísicos conjuntamente con rehabilitación mecánica (Mendoza Álvarez, 2018).

En lo que conlleva con el hombro lo que se busca es restablecer el hombro completamente, simétrico pasivo y activo, así como restablecer las funciones del hombro quitando al máximo el dolor (Therapy, 2015). Para lograr este cometido se debe enfocar el proceso de rehabilitación en dos líneas: fortalecer los músculos que sostienen el hombro para estabilizar la articulación, aliviar el dolor y prevenir lesiones y en la flexibilidad que ayudará a restaurar el rango de movimiento e igualmente evitar lesiones (Surgeons, 2012).

Para la rehabilitación son asignados programas determinados por un médico o fisioterapeuta dependiendo el tipo de problema que presenta el paciente. En este punto se toma en cuenta que existe un debate de en cual etapa se debe iniciar la rehabilitación (Lee, 2012). Los programas de rehabilitación comienzan con ejercicios de baja carga y repetitivos que no causen dolencias ya que de esa manera se trata de estimular las vías regeneradoras, estos puntos se cumplen si la rehabilitación debe realizarse desde un punto inicial, como un hombro operado o que ha perdido casi por completo su función (Raschhofer, 2017).

Por consiguiente los ejercicios se determinan dependiendo la fase de rehabilitación que se vaya a tratar, considerando si se va a realizar una regeneración total, para recuperación del movimiento o fortalecimiento de la articulación, tomando en cuenta que los ejercicios deben realizarse de forma controlada y aumentando progresivamente la carga aplicada, observando que la correcta ejecución de los ejercicios es lo que nos va a permitir alcanzar la óptima recuperación de los tejidos dañados, así como mejorar las propiedades mecánicas del tendón. (Raschhofer, 2017).

Fundamentado estos aspectos se debe ocurrir que el principio de la rehabilitación debe ser realizado con movimientos pasivos asistidos por un terapeuta o alguna máquina auxiliar con el fin de realizar una activación progresiva del músculo (PK, 2017).

2.9.2. Fases de rehabilitación

Según (Grunenthal, 2019) para realizar una rehabilitación debe existir una estrecha comunicación entre médico traumatólogo y rehabilitador. Para de esta manera determinar las técnicas que se van a aplicar.

En este caso existen 4 fases que son utilizadas y aceptadas por la mayoría de médicos las cuales mencionamos a continuación:

- **Fase 1: Postquirúrgica inmediata**

El objetivo esencial de esta fase es mantener la integridad del tejido reparado mediante la disminución del dolor e inflamación, así como el no permitir la inmovilización completa muscular. En esta fase se toman como tiempo mínimo 4 semanas en las cuales debe existir una inmovilización (ver figura 2.11) con una férula la cuál debe tener una inclinación de 45° y una rotación interna leve.



Figura 2.11. Fase 1 de rehabilitación de hombro. Extraído de (Grunenthal, 2019)

En la figura 2.12 se observa cómo se deben realizar ejercicios pendulares, los cuales ayudaran al paciente a ejercitar la columna cervical y activos de codo, muñeca y mano. Con los ejercicios pendulares se debe ejercitar la articulación glenohumeral y ejercicios de abducción (Grunenthal, 2019).



Figura 2.12. Fase 1 (Movimiento limitado del hombro. Extraído de (Grunenthal, 2019)

En esta fase lo que netamente necesitamos es que el hombro se encuentre en reposo para que pueda restablecer sus formas naturales, por lo cual los músculos deben estar en menor funcionamiento posible.

- **Fase 2: De protección y movilización activa protegida**

Esta fase inicia en la 6ta semana postoperatoria, en su mayor parte los tejidos están volviendo a reactivarse. Se debe tratar un bajo nivel de carga muscular para de esta manera ayudar a una mejor estabilización de las fibras musculares. Como se muestra en la figura 2.13 conviene realizar ejercicios en los cuales se emplea un palo, bandas elásticas, terapia de piscina con la ayuda de un fisioterapeuta y ejercicios en casa con ayuda de la extremidad que se encuentra en óptimas condiciones (Grunenthal, 2019)



Figura 2.13. Movimiento activo-asistido de rotación. Extraído de (Grunenthal, 2019)

De igual manera se deben realizar ejercicios de ir fortaleciendo paulatinamente el hombro y de esta manera lograr una recuperación exitosa y fructífera para el paciente.

- **Fase 3: De formación precoz**

Al llegar a la 10ma semana se puede determinar que las articulaciones estén fortalecidas completamente, ya que depende de esto para que se pueda iniciar esta fase sin molestias y de forma segura.

Iniciamos con ejercicios isométricos que son los que permiten aplicar fuerza controlada y que no exista riesgo de lesiones, a continuación se emplea ejercicios con banda elástica ya que con estos se puede realizar ejercicios para aumentar la resistencia muscular (Grunenthal, 2019).

Para esta etapa se realizan movimientos que son claves en el punto de la rehabilitación: rotación externa (infra espinoso y redondo), rotación interna (subescapular), flexión (deltoides anterior y supra espinoso) y extensión (deltoides posterior) como se ve en la figura 2.14.



Figura 2.14. Ejercicios de flexo extensión, abducción, aducción. Extraído de (Grunenthal, 2019)

- **Fase 4: De formación avanzada**

Culminada la remodelación de las fibras del hombro, ya dispone de la fuerza necesaria para soportar cargas mayores. En esta fase se realiza una rehabilitación de máxima resistencia, coordinadamente con la estabilidad.

Se realizará una potenciación de la musculatura del manguito rotador con ejercicios de rotación externa del hombro en abducción de 45° con bandas elásticas, para activar el infra espinoso y el redondo; y ejercicios de rotación externa del hombro en abducción de 90° como se observa en la figura 2.15, para activar fundamentalmente el supra espinoso (Grunenthal, 2019).



Figura 2.15. Ejercicios de potenciación infra espinoso, redondo y supra espinoso. Extraído de (Grunenthal, 2019).

El objetivo de la investigación es trabajar en un dispositivo que sirva para estas dos últimas fases de rehabilitación, la razón principal es que no requieren de mucha supervisión médica para realizar los ejercicios de rehabilitación. Por otro lado, son las etapas donde el paciente ya empieza a realizar su rutina normal de vida laboral y no cuentan con el tiempo necesario para trasladarse a centros de rehabilitaciones.

2.10. Rehabilitadores de hombro

En este ámbito los dispositivos de rehabilitación de hombro se encuentran dirigidos a personas que sienten molestias con la movilidad del hombro. Su principal objetivo es mejorar y ayudar a las personas a realizar movimientos por su propia cuenta y de manera cotidiana mejorando su calidad de vida.

2.11. Tipos de rehabilitadores de hombro

Se debe tomar en cuenta que la rehabilitación consta de diferentes fases correspondiendo a la movilidad y grado de complicación de la misma que llevan a diferentes procesos de tratamientos. En el mercado se puede observar tres tipos de rehabilitadores, los cuales los analizaremos a continuación:

- **Rehabilitador de movimiento pasivo continuo (CPM, por sus siglas en inglés):** Dispositivo por el cual mediante una fuerza motorizada externa la extremidad puede realizar movimientos determinados de acuerdo al rango de movilidad (figura 2.16). Se aplica para personas que no poseen fuerza en el hombro.



Figura 2.16. Dispositivo CPM comercial. Extraído de (Kondak, 2000)

- **Rehabilitador de rango de movimiento (ROM, por sus siglas en inglés):** Diseñado para personas que tienen un alto nivel de rigidez en las extremidades por lo tanto no pueden ejercitar movimientos de flexión, extensión y rotación. Este dispositivo se centra en realizar inmovilizaciones regulables y controladas.
- **Rehabilitador de flexión y extensión dinámica:** Estos rehabilitadores son utilizados primordialmente cuando el paciente ya posee algo de fuerza en la articulación (figura 2.17).




Figura 2.17 Rehabilitador dinámico comercial. Extraído de (Kondak, 2000)

2.12. Rehabilitadores de hombro existente.

Durante la última década algunas empresas se han dedicado a diseñar y construir dispositivos dirigidos a la rehabilitación del hombro, tomando en cuenta las mejoras de sus funciones y beneficios, no obstante, no se encuentran investigaciones más contundentes para el desarrollo de alternativas para una población de bajos recursos económicos y que utilice materiales alternativos (Prentice, 2001).

Estas empresas investigan, desarrollan, y comercializan dispositivos netamente terapéuticos para hombro, entre las que se puede mencionar: Kinetec®, Canwell Médica®, Kondak Changzhou Medical Rehabilitation Equipment Co., Ltd. Estas se centran en el desarrollo de productos CPM controlados y automatizados para la reproducción de movimientos de flexo extensión con mecanismos. En la tabla 2.1 se observa un resumen de las más destacadas, donde se refleja el amplio rango de flexión y extensión que poseen (Chagna, 2017).

Tabla 2.1. Dispositivos existentes en el mercado

Empresa	Dispositivo	Descripción	Ilustración
Kinetec	Centura Máquina CPM Hombro	Permite un programa de rehabilitación temprano de hombro y codo. Rango de ejercicios de movimiento variable contribuye al alivio de la rigidez de articulaciones.	
Kinetec	Centura B&W Máquina CPM Hombro	Permite la movilización temprana post-operatoria del hombro.	
Canwell Médica	JKJ-1 hombro rehabilitación CPM máquina	Marca: Canwell Número de modelo: JKJ-1 Rango de movimiento 0 ~ 270 Velocidad 0 / Segundo ~ 6 / Segundo, el Reglamento sin escalones	

**Kondak
Changzhou
Medical
Rehabilitatio
n Equipment
Co., Ltd**

**Rehabilitador
del Hombro
CPM**

La Articulación del hombro CPM es el nuevo diseño de productos de equipo médico, la principal característica del producto es la CPU y pantalla LCD, permite que el hombro articulación se mueva a través de muchas direcciones.



Nextan

**Shoulder
Rehabilitation
Device**

Dispositivo multipropósito dirigido a la realización de los 3 ejercicios claves en la rehabilitación del hombro, flexión y extensión, rotación interna y externa, aducción y abducción.



Easytech


Dynatorq





Dispositivo de rehabilitación mediante el uso de bandas elásticas ajustables y una computadora. Puede proporcionar datos respecto a la fuerza como también el ángulo.



En el mismo ámbito existen empresas que desarrollan dispositivos rehabilitadores no automatizados (ROM y dinámicos), como tenemos el caso de T-Pulley®, Kondak Changzhou Medical Rehabilitation Equipment Co., Ltd, Jianben®, JAS®, Stat-A-Dyne TM. En la tabla 2.2 describimos algunas de sus alternativas.

Tabla 2.2 Dispositivos ROM y Dinámicos disponibles.

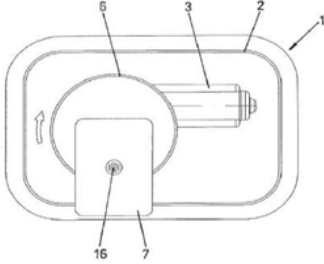

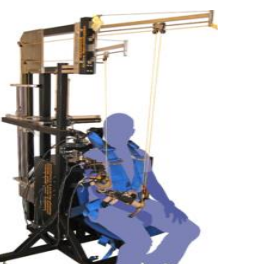
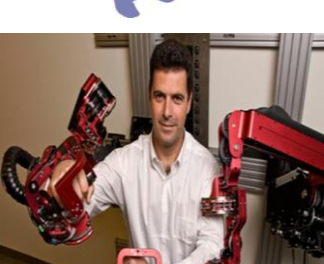
Empresa	Dispositivo	Descripción	Ilustración
T-Pulley	(A)T-Pulley. (B)	Unidad de montaje de rueda para clínicas, es posible ajustar la altura y el radio, también la resistencia al apretar las poleas.	

<p>Kondak Changzhou Medical Rehabilitati on Equipment Co., Ltd</p>	<p>Ejercitadores De Hombro Y Codo</p>	<p>Entre los dispositivos básicos que presenta para rehabilitación de extremidades superiores se encuentran ejercitadores de hombros, que ayudan a mejorar la habilidad de movimiento del hombro y codo</p>	
<p>Jianben</p>	<p>Equipos De Rehabilitación Del Hombro</p>	<p>Para mejorar el hombro, codo y el alcance de las actividades llevadas a cabo el entrenamiento de fuerza</p>	
<p>JAS</p>	<p>JAS Dynamic Shoulder</p>	<p>Jas Dynamic Shoulder ofrece terapia de rango de movimientos dinámico completo (ROM) en un dispositivo liviano y de bajo perfil.</p>	
<p>Stat-A-Dyne TM</p>	<p>The Stat-A- Dyne™ Shoulder</p>	<p>Solución portátil y fácil de usar para pacientes con limitaciones de ROM en el hombro. Los protocolos de uso típicos para el hombro alientan al paciente a enfocar su estiramiento en rotación externa mientras mantienen el dispositivo a unos 30 ° de abducción.</p>	

En esta misma dirección muchas universidades y centros de investigación han desarrollado investigaciones y prototipos direccionados al diseño y producción de rehabilitadores de hombros. A nivel mundial se encuentran diversas investigaciones como las propuestas por (Beach, 2012), (Brotzman, 2005), (Grunenthal, 2019), (Macao & Nacipucha, 2016), (Surgeons, 2012), (Therapy, 2015).

Académicamente en Ecuador encontramos diversos artículos en los cuales netamente se analiza los diferentes métodos de rehabilitación por medio de un fisioterapeuta experto en el tema (García Quiñónez, 2013), (Mendoza Álvarez, 2018), (Aguirre Ortiz, 2014), (Moya & Stephanie, 2014), (Aguirre Ortiz, 2014), (Macao & Nacipucha, 2016).

Tabla 2.3. Dispositivos desarrollados a nivel mundial.

Autor	Proyecto	Descripción	Ilustración
García	Aparato para ejercitar las articulaciones del hombro y el codo	El aparato comprende un habitáculo, a modo de caja, que aloja un moto-reductor cuyo rotor se une a un eje, que se solidariza a una placa giratoria a la que se asocia, en posición excéntrica, un cuerpo giratorio libre de apoyo del brazo del usuario.	
Richard Brent Gillespie.	EMbot	Consta de tres cilindros que abarcan el hombro y un solo cilindro que comprende el movimiento del codo y la muñeca.	
Herman van der Kooij, et al. 2009	Dampace	Exoesqueleto dispensador de energía para investigación de rehabilitación, evaluación y entrenamiento.	
Q. van Delden,	EXO-UL7.	Otro robot exoesquelético con 7 grados de libertad para cada brazo.	

MIME

Un robot con 6 grados de libertad enfocado en la función del hombro y codo más afectado.



En este mismo contexto, existen muchas patentes industriales direccionadas a equipos de rehabilitador de hombro, como se detallan a continuación (EE.UU Patente nº US8905950B2, 2009), (EEUU Patente nº US006001075A, 1999), (EEUU Patente nº US4865024, 1989), (EE.UU Patente nº US6007500A, 2018), (EE.UU Patente nº US8529479B2, 2009), (EEUU Patente nº US005399154A, 1995), (EEUU Patente nº US5036837, 1991), (EE.UU Patente nº US8905950B2, 2009), (EE.UU Patente nº US7955285B2, 2016), (EE.UU Patente nº US5252102A, 1992), (EE.UU Patente nº US7331911B2, 2007).

Todos los productos desarrollados en las tablas anteriores están diseñados para cumplir la misma función que el producto a desarrollar en esta investigación, que es mejorar la calidad de vida del paciente, la diferencia radica en que se diseñará un dispositivo pensando en el bajo costo, en la adaptación fisionómica, y que además proporcione el valor agregado de la estética, aditamento esencial como lo expresa (Torrencillas, 2015) para realzar la autoestima del usuario.

2.13. Impresión 3D

Es un proceso para construir objetos (sólidos) a partir de un archivo digital; utilizando como herramienta una impresora 3D (Segnini, Vergara, & Provenzano, 2017).

2.14. Impresoras 3D

Dispositivo capaz de generar cuerpos físicos sólidos tridimensionales por medio de la adición de capa a capa de materiales, esto quiere decir que permite desarrollar un producto sin la necesidad de disponer de moldes. También a diferencia de los métodos convencionales de creación de objetos que se utiliza

una metodología de sustracción de material, en este se realiza un proceso de adición de material el cual nos facilita la visualización previa de acabados y se utiliza el material estrictamente necesario (Tecnología y Informática, 2018).

2.14.1. Materiales de impresión.

Existen diferentes tipos de materiales para impresión, comúnmente llamados “filamento”, los cuales, van en continuo desarrollo ya que se sigue experimentando con nuevas posibilidades, entre los más los más comunes y más utilizados tenemos:

- **PLA.-** Ácido poli láctico es el más utilizado a nivel mundial, biodegradable creado del almidón de maíz, consta de una textura ligeramente rugosa y sus acabados al final de la impresión son más prolijos, derivado de recursos renovables como el almidón de maíz o la caña de azúcar.

Entre sus propiedades están una alta dureza, durabilidad media y en cuanto a la flexibilidad es baja, se debe imprimir entre los 180°C y 230°C. Las ventajas de este materia esta la facilidad de impresión, amplia variedad de colores y estilos y por último es biodegradable por lo cual ayuda al medio ambiente, de la misma manera tiene desventajas como material quebradizo y no consta con propiedades mecánicas adecuadas. (Rohringer, 2020)

- **ABS.-** Acrilonitrilo butadieno estireno es el segundo filamento más popular y utilizado en la impresión 3D, es un filamento que sus características lo hacen más difícil de extruir por esta razón es utilizado en productos domésticos y bienes de consumo que van desde ladrillos Lego hasta cascos de bicicleta por su larga vida útil (Rohringer, 2020).

Como sus principales propiedades esta su dureza y durabilidad, se debe imprimir a una temperatura entre 210°C y 250°C, esta si debe constar de una cama de impresión a temperatura aproximada de 80°C y 110°C. Las ventajas de este producto es su alta resistencia, durabilidad y resistencia a altas temperaturas, entre sus desventajas tenemos que emite humos nocivos, requiere aditamentos extra especiales para este material y se deforma con facilidad.

- **PETG.-** Tereftalato de polietileno glicolizado es el plástico más común en el mundo, utilizado para la fabricación de botellas de agua, algunas fibras textiles y envases de alimentos. Se encuentra como un término medio entre el ABS y el PLA por su manera de uso. Las características de este material son su dureza y durabilidad considerando de igual manera la flexibilidad en una proporción media, su temperatura de impresión varía entre los 220°C y 250°C y la cama de impresión entre 50°C y 75°C. Sus principales ventajas es un materia flexible, duradero y de fácil impresión, por otro lado sus desventajas es su sensibilidad a la humedad (Rohringer, 2020).

- **TPE, TPU, TPC.-** Elastómeros termoplásticos se definen como plásticos con propiedades elásticas, por lo tanto los hacen extremadamente flexibles y duraderos, son utilizados frecuentemente en piezas de automóviles, electrodomésticos y equipamiento médico. Son filamentos suaves por lo tanto no tiene comparación con el ABS ni el PLA, es un material complejo para el momento de realizar un impresión 3D por su propiedades.

Entre sus propiedades consta de una flexibilidad y durabilidad muy alta, su temperatura de impresión varía entre los 210°C y 230°C, la cama de impresión es opcional. Las ventajas de este material son su flexibilidad ya que puede ser utilizado en piezas que necesiten ser dobladas o se tengan que comprimir en su uso, por otro lado las desventajas son su dificultad para imprimir, se necesita un conductos para filamento estrecho y una velocidad de impresión lenta (Rohringer, 2020).

- **Nailon.-** Se lo considera como el campeón en el mundo de la impresión 3D, esto se define de esta manera por sus propiedades de dureza, flexibilidad y durabilidad, la temperatura de impresión de este material es de 240 °C y 260°C, la cama de impresión es indispensable ya que debe tener una temperatura entre 70°C a 100°C.

Las ventajas de utilizar este material se debe a que constan de alta resistencia, flexible y duradero, de igual manera consta de desventajas las cuales son su

costo, que es sensible a la humedad, y se requiere que tanto la cama de impresión como el cabezal tenga una alta temperatura (Rohringer, 2020).

2.15. Programas para el diseño asistido por ordenador

En la actualidad los programas informáticos facilitan el desarrollo de los productos orientando a un proceso de fabricación, construcción y diseño ágil, con el fin de documentar, evaluar y optimizar procesos.

Entre estos se encuentran los Software CAD, CAE, CAM, cada uno de estos permiten una re-configuración y análisis previo al diseño y fabricación. A continuación, se describen las herramientas seleccionadas como parte del diseño del dispositivo de rehabilitación (Camuendo, 2019).

Adobe Ilustrador (AI)

Herramienta informática basada en el dibujo vectorial partiendo de una mesa de trabajo, utilizada para la creación de propuestas de mecanismos, formas conceptuales, marcas, y materiales auxiliares que nos ayudan a complementar nuestros proyectos (Camuendo, 2019).

CAD Inventor®

Software basado en el modelado paramétrico de sólidos en 3D, fundamentalmente funciona para realizar diseño de piezas, plantillas y ensambles de partes (Vaca, 2019). En el proyecto se realizará el diseño de piezas tomando en cuenta las dimensiones del dispositivo, mediante esto se llevará a la geometría 3D, ya con esto se desarrollará la documentación y simulación del producto.

Expert Choice Comparion™

Programa computarizado basado en orientar la toma de decisiones, que ayuda con el análisis y sistematización mediante valores numéricos de los cuales se asignan propiedades a las alternativas dadas (Camuendo, 2019).

2.16. Diseño Inclusivo

Se basa en la manera de ayudar a escalar y alcanzar metas en los productos y servicios desde su etapa inicial, logrando de esta manera que el resultado sea útil para toda la sociedad incluyendo eficientemente a personas que tengan alguna discapacidad (ver figura 2.18).



Figura 2.18. Esquema del Diseño Inclusivo. Imagen modificada de (VisualPlus, 2010).

Este nos acerca a un producto que tenga un uso compartido, tomando en cuenta que es la vinculación de la competitividad de la industria y el bienestar de la comunidad que se asocian, de esta manera se acoplan para formar un buen negocio para hacer el bien (Maceira, 2018).

En resumen, en este capítulo como parte de la investigación requerida, se describen todos los componentes, métodos y técnicas relacionados con el entorno de los rehabilitadores de hombro, así como los avances comerciales, académicos y estéticos en pro del desarrollo de estos equipos (Vaca, 2019).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DEL DISEÑO

3.1. Propuesta de metodología para el diseño

Se define a una metodología de diseño como una guía, la cual se basa en dirigir a los creativos en el proceso de proyectar y de esta manera obtener patrones (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018).

En este caso nos basaremos en una modificación de la metodología que es desarrollada por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), titulada Proceso de Diseño: fases para el desarrollo de productos (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], 2009), por medio de este se propone un proceso de diseño el cual se centra en un recorrido para diseñar un producto. Este proceso está distribuido por fases de trabajo (ver figura 3.1), los cuales dan seguimiento a determinados objetivos, llegando a determinar momentos de creación y otros de control e implementación.

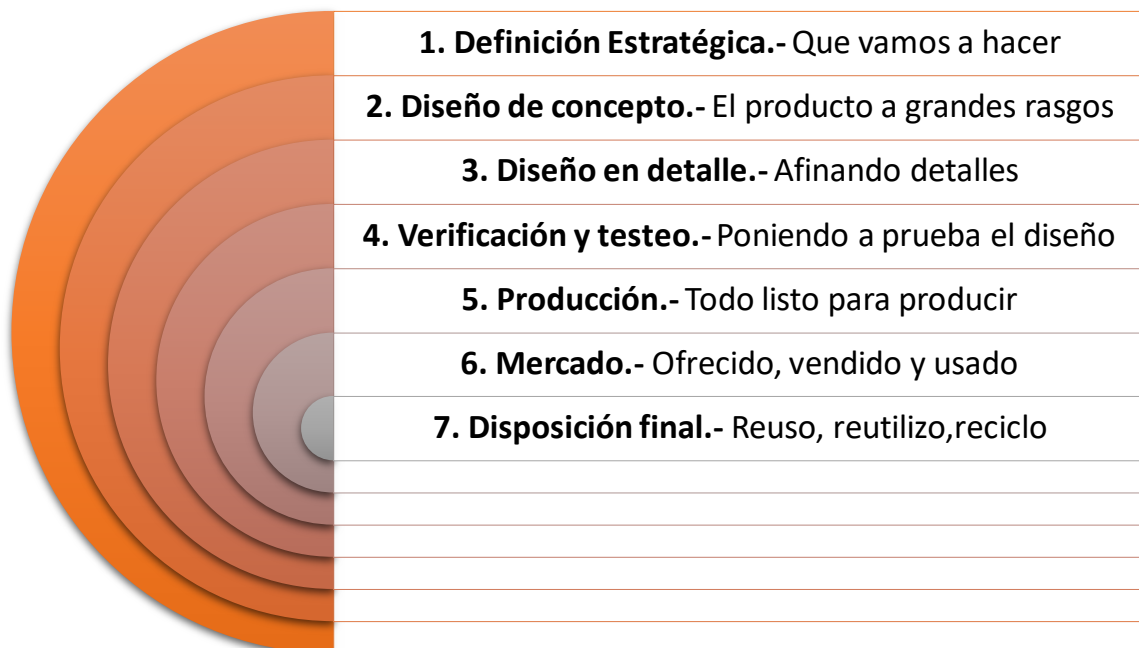


Figura 3.1. Metodología de diseño propuesta por el INTI. Extraído de (INTI, 2009)

La metodología que escogimos consta de diferentes fases que nos guía desde la definición estratégica hasta el fin de vida del producto. Esto no significa que el

proceso sea estrictamente secuencial, ya que algunas fases pueden darse de manera simultánea e integrada. Para este proyecto utilizaremos 5 fases (ver figura 3.2) que nos llevaran a la producción del prototipo.



Figura 3.2. Metodología de diseño utilizada.

3.1.1. Definición estratégica: ¿Qué vamos hacer?

Una vez detectado el problema se empieza a recopilar y procesar la información, tratando de visualizar de primera mano a donde dirigimos. Tomando en cuenta el “que se va a hacer”, pero sin avanzar el “cómo hacerlo” (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], 2009). Conjuntamente se elabora una base de datos la cual permite formar la estructura y registro del marco conceptual y teórico (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018).

3.1.2. Diseño de concepto: El producto a grandes rasgos

Mediante esta etapa obtenemos una perspectiva de terceras personas hacia nuestro proyecto y de esta manera ser entendido. Por medio de esto se desarrolla una conceptualización concreta con el fin de analizar distintas alternativas y optar por una para realizar el diseño de detalle (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], 2009).

3.1.3. Diseño de detalle: Afinando detalles

Procedemos a precisar de una manera formal el producto y determinar las especificaciones técnicas para su elaboración. Se toma en cuenta aspectos perceptivos y utilitarios, conjuntos y subconjuntos, geometría y vínculos entre partes, materiales a utilizar y procesos de producción (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], 2009).

3.1.4. Verificación y Testeo: Poniendo a prueba el diseño

En el proceso de diseño se debe cotejar que todas las características conceptuales sean cumplidas a plenitud, tomando en cuenta que se satisfagan aspectos como seguridad, calidad, confiabilidad y mantenimiento.

Se realizará comprobaciones que dictaminen si se cumplen las especificaciones que se llevaron a cabo en anteriores etapas, por medio de ésta nos concentramos también en características técnicas como dimensionamiento, ensambles, montajes, lo que nos lleva a un proceso iterativo el cual pasamos de algo técnico a una solución factible para ser producida (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], 2009).

3.1.5. Producción: Todo listo para producir

Puesta en marcha de la producción, fabricando una prueba piloto, utilizando y poniendo a punto los medios productivos necesarios. La fluidez del desarrollo de las actividades de esta fase reflejará de alguna manera las bondades del diseño trabajadas previamente (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], 2009).

3.2. Análisis de Referentes

En concordancia con (Camuendo, 2019), se necesita identificar las necesidades y crear un conductor de información confiable directamente con el usuario que lo va a utilizar. Para obtener los datos necesarios se debe tener un acercamiento con el usuario y con su experiencia con el ambiente de uso del producto, teniendo en cuenta que es el método principal para recopilación de datos.

Los usuarios están representados por las personas que sufren casos de dolencias del hombro. Por medio de esto se trabaja con los pacientes de la Unidad de Rehabilitación y Terapia Física del Hospital San Vicente de Paúl, ubicada en la ciudad de Ibarra, Ecuador y con el Centro de Fisioterapia y Rehabilitación “Fisiovida”, ubicado en la ciudad de Otavalo, Ecuador. Se trabaja con un total de dieciocho (18) pacientes que estaban siendo atendidos en el período de junio y julio del año en curso (ver tabla 3.1)

Tabla 3.1 Lista de Pacientes entrevistados

Paciente	Sexo	Edad (años)	Causa de Lesión
1	M	23	Juego de Voleibol
2	M	32	Movimiento repetitivo
3	M	41	Caída
4	F	25	Movimiento repetitivo
5	M	17	Movimiento repetitivo
6	F	20	Movimiento repetitivo
7	M	21	Juego de Voleibol
8	F	28	Natación
9	F	26	Caída
10	M	33	Movimiento repetitivo
11	M	29	Movimiento repetitivo
12	M	37	Movimiento repetitivo
13	F	27	Caída
14	M	39	Movimiento repetitivo
15	F	37	Movimiento repetitivo
16	M	22	Juego voleibol
17	F	48	Caída
18	F	21	Natación

Esta información se la tiene que sintetizar, comparar y analizar con la bibliografía referente al tema, para con el asesoramiento de un especialista fisioterapeuta, obtener alternativas de diseño que cubran los requisitos. Se establecen cinco variables fundamentales que se deben tomar en cuenta para un rehabilitador de hombro:

- **Comodidad:** Referido al bienestar físico que establece el uso del rehabilitador de hombro.
- **Portátil:** Fácil de mover y transportar por su ligereza y tamaño pequeño.
- **Estético:** asociada a la proyección visual del rehabilitador de hombro, su apariencia física.
- **Multi Movimientos:** Relacionada directamente con la posibilidad de permitir la ejecución de movimientos similares a los de la articulación sana.
- **Costo:** referido a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición de la prótesis.

3.3. Conceptualización

Para poder elaborar un producto se debe partir de un documento y debemos encaminarlos a un concepto minimalista en este caso, el cual vamos a aplicarlo hacia el origen del diseño mecánico, por el cual queremos transmitir ligereza, rigidez y armonía por medio de la estructura. El diseño abordado, se basa en líneas, acabados curvos, superficies lisas, que por medio de esto se da a notar un producto que atiende a las necesidades y da confianza mutua entre el usuario y el dispositivo.

3.4. Selección de alternativas

Para poder desarrollar las propuestas de diseño se analiza que existe necesidades tanto mecánicas como de forma y función (estética), la cual nos lleva a dividir en dos puntos importantes que son:

- **Mecanismos**

Son los que se encuentran destinados a transmitir y/o transformar fuerzas y/o movimientos desde un punto motriz a un elemento conducido, logrando que el ser humano puede desarrollar determinadas tareas con facilidad y un menor esfuerzo (Xunta, 2017).

- **Modelos**

Para modelo existen diferentes definiciones, pero en este caso se lo definirá como un artefacto, objeto o aparato el cual es fabricado por medio de un patrón y se realiza conforme a como se lo especifica en un diseño (Significados, 2018).

Una vez determinando las dos partes fundamentales de la propuesta podemos determinar que para su selección se utilizara un proceso analítico jerárquico el cual es necesario para ejecutar el paquete computacional Expert Choice Comparion®, se les da un valor numérico a las opciones planteadas que están regidas bajo el principio de la metodología y acorde a propiedades y procesos analíticos, para que la herramienta sintetice dichos valores y tome las decisiones que se adapten a los requerimientos y determinantes del proyecto (Expert Choice, 2018). Habiendo realizado este proceso se procede a fusionar las dos propuestas en un solo producto.

3.5. Alternativas para la forma de Diseño

Para poder realizar las propuestas de diseño se parte de un análisis de las fases de rehabilitación que existen, de lo cual determinamos que nos centraremos en la fase 3 que se desglosa en el apartado 2.9.2, en la cual podemos realizar movimientos con fuerza controlada.

En las propuestas preliminares de diseño se toma alternativas orgánicas que asemejan el concepto de diseño y se relacionan con los sistemas de rehabilitación que existen en el mercado, para esto se contempla mecanismos que cumplan con los movimientos requeridos para un rehabilitador de hombro.

3.5.1. Alternativas de mecanismo

A continuación, se presentan 3 configuraciones de los mecanismos:

Mecanismo 1: Exoesqueleto. - La idea parte de un exoesqueleto, el cual consta de articulaciones esféricas y planas que permiten el libre movimiento de abducción, aducción y flexo-extensión del hombro, como se muestra en la figura 3.3.

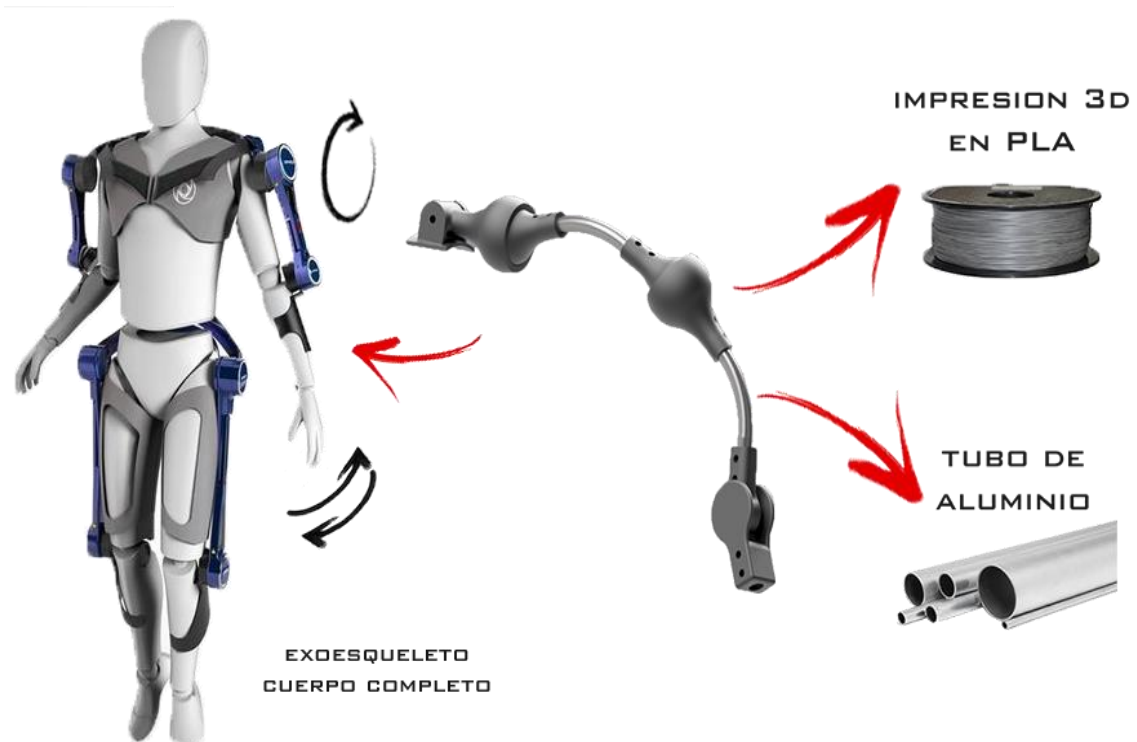


Figura 3.3. Propuesta mecanismo 1, Exoesqueleto.

Mecanismo 2: Sistema retráctil. - Está compuesto por un sistema fijo, el cual consta de un sistema retráctil y una polea con sujetador que permite realizar los movimientos de abducción, aducción y flexo-extensión, ver figura 3.4.



Figura 3.4. Propuesta mecanismo 2, Sistema retráctil.

Mecanismo 3: Sistema de bandas elásticas. - Compuesto de un sistema fijo, depende de sujetadores superficiales en los cuales se enganchan ligas con diferente porcentaje de estiramiento, ver figura 3.5.

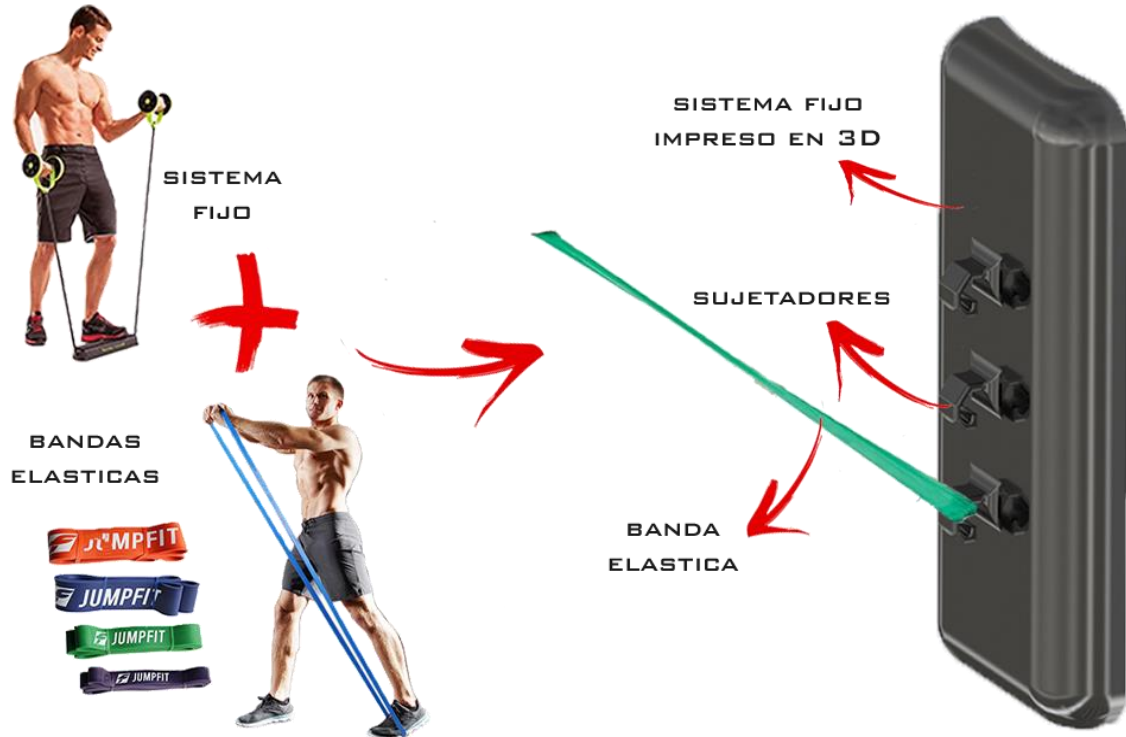


Figura 3.5. Propuesta mecanismo 3, Sistema fijo.

3.5.2. Alternativa de modelo

Modelo 1: Esta propuesta nos da una sujeción desde la parte superior del hombro, aportando comodidad y sujeción al hombro, esta forma es una modificación de los soportes de hombro convencionales, ver figura 3.6.

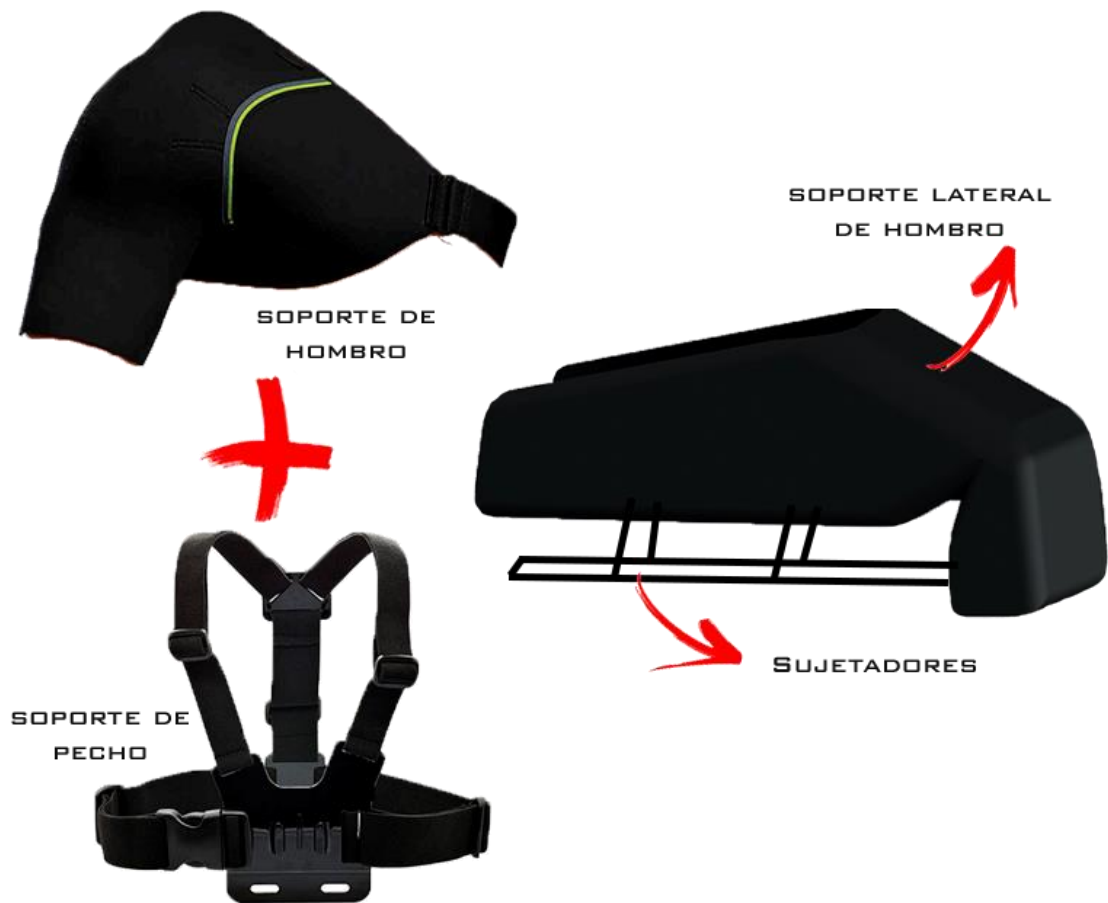


Figura 3.6. Propuesta modelo 1, Sujeción de hombro.

Modelo 2: Partimos del sitio donde va a ir ubicado el dispositivo y basándonos en un cinturón porta armas se procedió a rediseñar el cinturón, tomando en cuenta el espacio para el dispositivo y la facilidad de montura individual del paciente, ver figura 3.7.



Figura 3.7. Propuesta modelo 2, Sujeción de cintura.

3.5.3. Materiales

Una vez logrando determinar los mecanismos y modelos posibles para desarrollar el prototipo, podemos analizar cuáles serían los posibles materiales para la elaboración.

Como material principal para los mecanismos sería el PLA utilizando una impresora 3D para elaborarlo de manera eficaz, una vez teniendo desarrollado los prototipos en Autodesk Inventor. Para los modelos se optará por utilizar tela (neopreno), la cual se adapta al cuerpo del paciente y no produce irritación ni tampoco sudoración excesiva al momento de realizar los ejercicios.

En resumen, en este capítulo hemos presentado diferentes alternativas para mecanismo y las formas por las cuales serán evaluadas según los criterios encontrados de acuerdo a los requerimientos de diseño. De la misma manera se

presentan los diferentes materiales que se consideran para su elaboración los cuales son de fácil acceso en el país.

CAPITULO IV

ANALISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Características del rehabilitador

Realizando las entrevistas a los pacientes se presentan los resultados que se muestran en la figura 4.1. Determinando las características más relevantes para el rehabilitador.

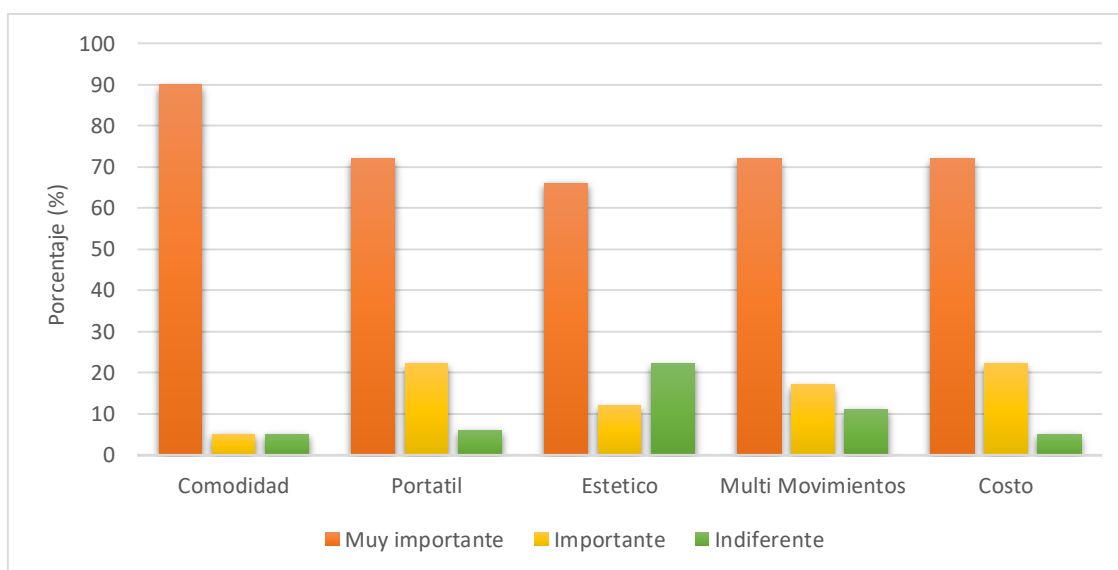


Figura 4.1. Resultados de encuestas con respecto a las características del rehabilitador.

Para el 90% de los pacientes el aspecto comodidad es muy importante, ya que la rehabilitación se extiende por un tiempo de una hora aproximadamente, el cual debe estar fijo al cuerpo del paciente tratado. Los multi movimientos (72%) es un tema importante, tomando en cuenta que en un mismo dispositivo deben contemplarse diversos movimientos que abarcan una rehabilitación óptima. Los puntos de portátil (72%), costo (72%) y estético (66%) se deben asociar de una manera conjunta, ya que la estética depende proporcionalmente del costo de sus materiales, la ligereza y fácil portabilidad de cada uno de estos.

4.2. Análisis jerárquico para selección de alternativas

El esquema de proceso de diseño propuesto establece alternativas para: mecanismos y forma externos del rehabilitador de hombro. De tal manera, se presentan alternativas dirigidas al rehabilitador, estas son sometidas a

evaluación y selección por la herramienta Expert Choice Comparion TM, que se detallan a continuación. (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018)

4.2.1. Selección de alternativas de mecanismo

Para realizar este proceso de debe partir de un planteamiento de alternativas y configuración de criterios los cuales deben cumplir con los movimientos de abducción, aducción y flexo-extensión. De los tres mecanismos propuestos (figura 4.2.) se escoge uno el cual determina la estructura interna del mecanismo, de esta manera se determina como objetivo el tipo de mecanismo y sistema, los criterios que se tomaran en cuenta son cinco.



Figura 4.2. M1) Exoesqueleto, M2) Sistema retráctil, M3) Sistema de ligas: Propuestas realizadas.

Cada uno de estos criterios se plantean determinando el grado de importancia, en el cual se busca la estabilidad y peso al momento de realizar los movimientos requeridos, tomando en cuenta también la disponibilidad en el mercado y el menor costo en cada uno de estos, que tenga un número de elementos bajo y fácil de ensamblar.

Ya una vez evaluadas las alternativas de acuerdo a los criterios y su importancia se llegan a obtener que el más relevante es el mecanismo número dos (2) según se observa en la figura 4.3.

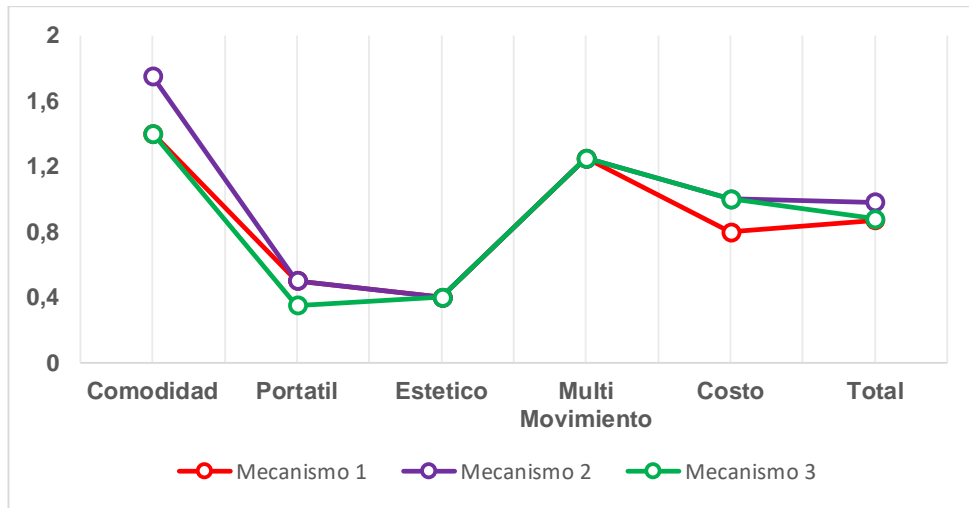


Figura 4.3. Resultados para la síntesis del mecanismo.

Se toma en cuenta que el mecanismo 3 es la que presenta menos complejidad al momento de su elaboración y tiene valores similares en número de elementos y peso, pero es la que menor estabilidad presenta al momento de su ejecución. Caso contrario el mecanismo uno es de alto impacto de desarrollo en todos sus puntos, siendo el que menos factible para elaboración.

4.2.2. Selección del sistema de sujeción.

En el capítulo tres se presentó dos propuestas (ver figura 4.4.) para la sujeción y montura, de esta manera procedemos a desarrollar la selección tomando en cuenta el mecanismo ganador y su adaptación a este modelo.

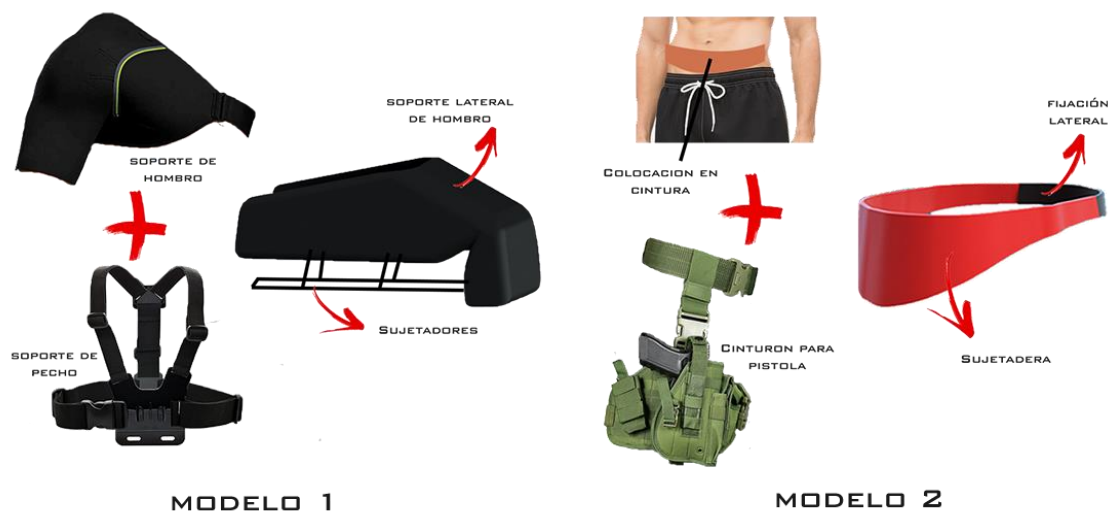


Figura 4.4. M1) Sujeción del hombro, M2) Sujeción de cintura: Propuestas realizadas.

Para establecer los criterios se toma en cuenta la importancia de cada uno de estos, por lo tanto, podemos establecer que por lo tanto se determina que se deben considerar que sea un dispositivo fácil de fabricar, resistente para que el usuario pueda utilizarlo con facilidad, pero a la vez se toma en cuenta que sea estético y ligero.

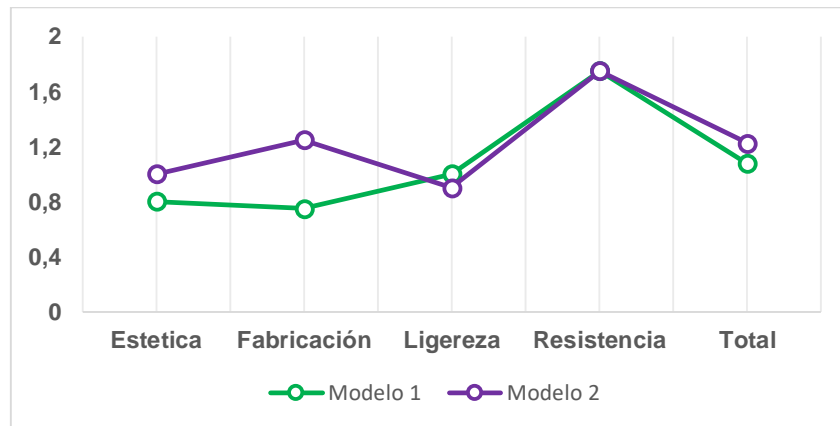


Figura 4.5. Resultados para la síntesis del sistema de sujeción del modelo.

Obteniendo la evaluación de las alternativas correspondientes a los criterios obtenemos que el más apropiado es el modelo dos (2) según observamos en la figura 4.5.

4.3. Generación de la geometría. Propuesta con Autodesk Inventor ®

Ya seleccionadas las alternativas por medio del análisis jerárquico, se realiza la fusión en un solo producto. Por medio de la figura 4.6, podemos visualizar el resultado de la combinación de las dos propuestas desarrolladas en Inventor® y llegando a la conformación del rehabilitador.

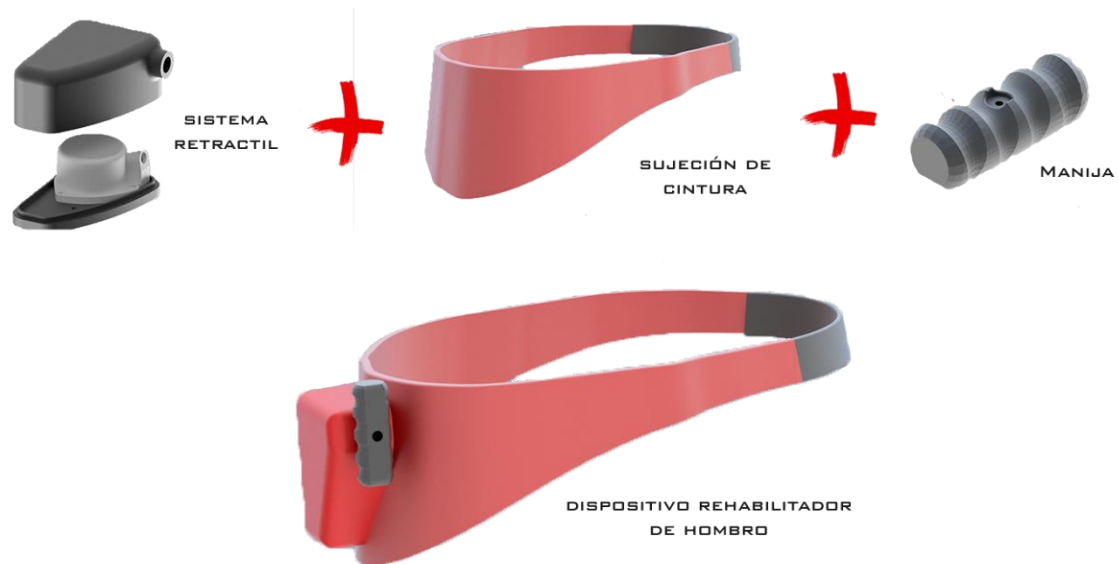


Figura 4.6. Geometría propuesta del rehabilitador y sus partes.

4.3.1. Sistema retráctil.

El arranque consta de un resorte, una polea y una estructura que los une, al momento de accionar el resorte este se contrae y la polea sale de la estructura. Una vez que se suelta la polea el resorte vuelve a su forma original y contrae la polea. Este dispositivo se lo va a adquirir del mercado.

4.3.2. Carcasa.

La carcasa será elaborada con dos piezas fabricadas de PLA, cuenta con el espacio para que encaje el arranque y con orificios para la sujeción de este y las dos tapas.

4.3.3. Soporte de cintura.

Para su elaboración se utilizó tela de neopreno, la cual es cómoda al momento de emplearla como montura y lo suficientemente rígida para que no exista inestabilidad en la sujeción.

4.3.4. Manija

Así como la carcasa este fabricado de PLA, se realizó un análisis de ergonomía en la mano para obtener un producto en el cual exista una adaptación ideal.

4.3.5. Peso de la propuesta

Por medio del software de diseño se realizó una estimación del peso del rehabilitador, este proceso se lo realizó insertando las densidades de los materiales de los cual se obtuvo la tabla 4.1, donde se observa un desglose de materiales por pieza y como cada una de estas ayudan a proporcionar ligereza al rehabilitador.

Tabla 4.1. Distribución del peso estimado del rehabilitador de hombro.

Componente	N° piezas	Material	Peso por pieza (kg)
Carcasa	1	PLA	0,150
Manija	1	PLA	0,030
Arranque manual	1	Varios	0,120
Soporte Cintura	1	Neopreno	0,100
Total			0,400

4.4. Propuesta Final

El resultado es un equipo para la rehabilitación de hombro, este producto está compuesto por 3 cuerpos, soporte de cintura, carcasa y arranque manual (disponible en el mercado).

Se compone de un cinturón el cual va sujeto en la cintura, con una sujeción por medio de un broche, consta de una bolsa en la parte lateral que es la que albergara a la carcasa. En la imagen 4.7 se observa una imagen foto realista del producto.



Figura 4.7. Imagen foto realista.

4.5. Dimensiones generales del rehabilitador de hombro

En este apartado nos concentraremos en el dimensionamiento generales del rehabilitador ver figura 4.8. Los planos completos del producto se encuentran definidos en el apartado anexos.

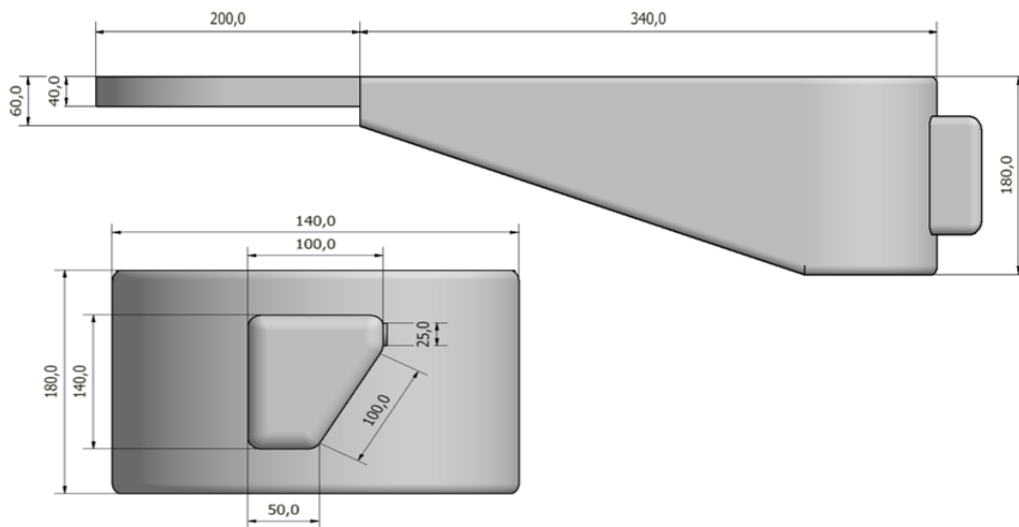


Figura 4.8. Dimensiones generales del rehabilitador de hombro (en milímetros).

4.6. Gestión de Proceso de Producción.

Definiendo los procesos de fabricación que vamos a utilizar consideramos la tecnología disponible hasta la diagramación de dicho proceso.

4.6.1. Descripción de los procesos

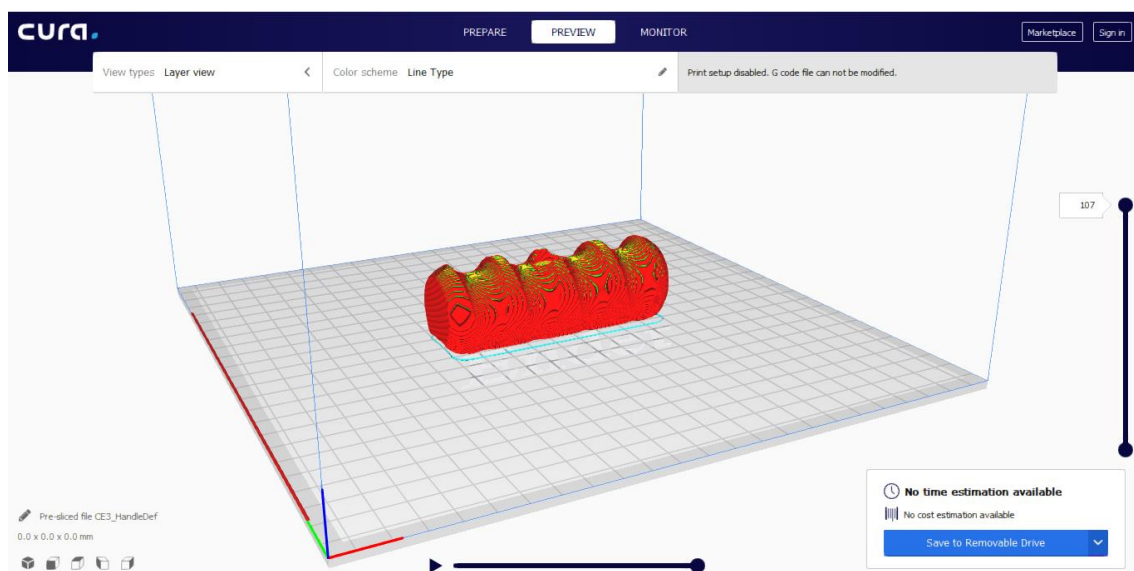
Para determinar la viabilidad técnica de fabricación, se presenta la gestión del proceso de producción, tomando en cuenta los procesos de manufactura disponibles.

- **Descripción de los procesos**

Se propone un proceso productivo en el cual consta de una parte automatizada y otra manual, que son las que definen la estructura del equipo.

Con la ayuda de la manufactura aditiva (impresión 3D) se realiza la fabricación de la carcasa que es la que sostiene el mecanismo y también la manija que ayuda a tener una empuñadura de la cual poder desarrollar los ejercicios (ver figura 4.9).

El arranque manual es un dispositivo comercial estándar, el cual no requiere ser fabricado.



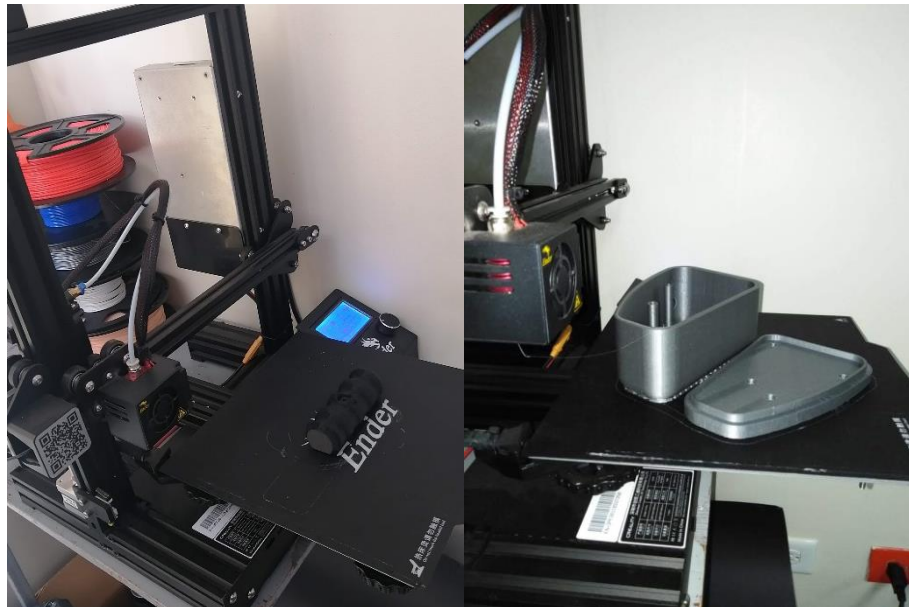
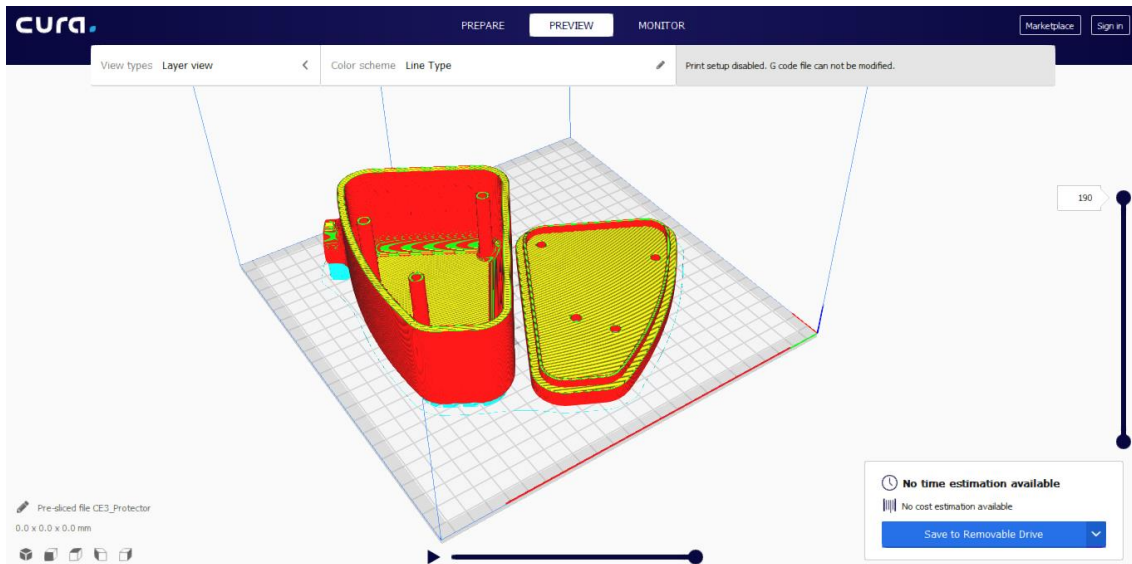


Figura 4.9. Fabricación de carcasa y manija en impresora 3D.

- **Tecnología disponible**

Este proyecto persigue fundamentalmente cubrir deficiencias en el sector salud, específicamente en el área traumatológica y fisioterapia, lo que implica formar parte activa de la industria manufacturera del país y capacitar mano de obra especializada, seleccionando un proceso automático para cumplir con los objetivos iniciales planteados, las máquinas-herramientas se usarán para la construcción de prototipos para investigación y desarrollo de nuevos productos (Chagna, 2017).

Para el desarrollo de este dispositivo se utilizó la combinación de proceso automatizado que conforma la impresión 3D y también el desarrollo manual del soporte de cintura.

- **Diagrama del proceso productivo**

Los procesos productivos de un rehabilitador conllevan una secuencia de pasos secuenciales interrelacionados, los cuales nos llevan a transformar la materia prima y darle un valor agregado, de manera que logremos desarrollar los productos finales diseñados. A continuación, se desarrolla el proceso de producción en el cual se resaltan los actores, actividades, tecnología y factores que definen el proceso de estudio ver figura 4.10.

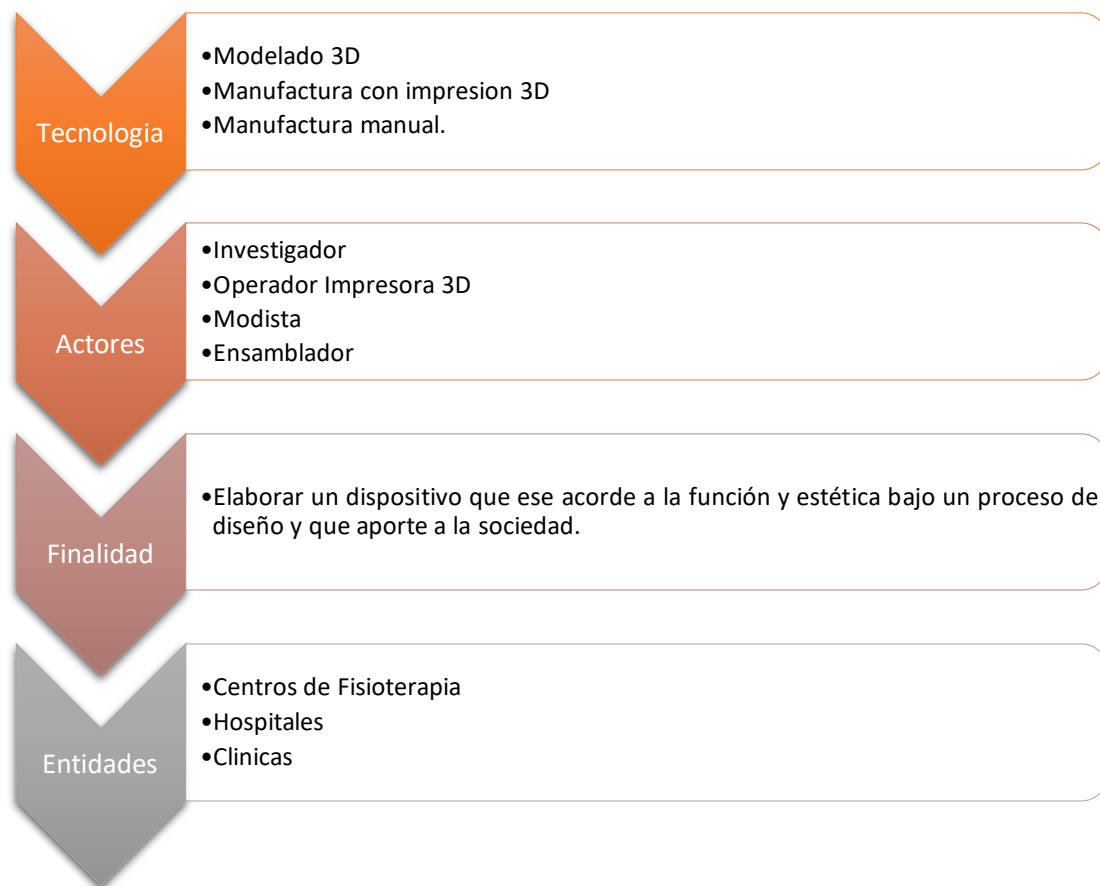


Figura 4.10. Proceso de fabricación de la prótesis.

4.7. Construcción del prototipo

En el siguiente apartado se presentan los factores que se relacionan para la fabricación del prototipo.

4.7.1. Cómputos métricos

Se detallará todos los materiales que necesitamos para la construcción del prototipo a escala real. Como se observa en la tabla 4.2 desglosamos los cómputos métricos que se estiman utilizar para la construcción.

Tabla 4.2 Cómputos métricos

Cantidad	Descripción	Material	Cómputos métricos	Unidad
4	Tornillos M5	Acero	4	Pza.
1	Arranque manual	Varios	1	Pza.
1	Filamento	PLA	154	gr
1	Neopreno	Tela	1	Mtrs2.
1	Tiempo de impresión 3D	Servicio	9	h
1	Ensamble y calibración.	Servicio	1	Serv.
1	Desarrollo y elaboración por parte de modista	Servicio	1	Serv.

4.7.2. Costo asociado a la construcción del prototipo

Habiendo obtenido los cómputos metros nos disponemos a realizar un presupuesto para el prototipo (ver tabla 4.3), se procede a realizar una referencia de precios de las casas comerciales ubicados en la ciudad de Ibarra y Otavalo. En la PUCE-SI se dispone de una impresora 3D la cual fue utilizada para el prototipo.

Tabla 4.3. Presupuesto para fabricación del prototipo.

Cantidad	Descripción	Precio unitario (USD)	Cantidad	Costo (USD)
4	Tornillos M5	0.12	4 Pza.	0.48
1	Arranque manual	10.00	1 Pza.	10.00
1	Filamento	0.03	154 gr	4.62

1	Neopreno	7.00	1	Mtrs.	7.00
1	Impresión 3D	4.00	9	h	36.00
1	Ensamble y calibración.	1.40	2	Serv.	2.78
1	Desarrollo y elaboración por parte de modista	10.00	1	Serv.	10.00
				Total	70.88

4.7.3. Costos asociados a la comercialización.

Para la comercialización del equipo se debe tomar en cuenta los egresos derivados del local comercial, pago de nómina, entre otros. En los materiales se realiza un análisis tomando en cuenta que diariamente se van a elaborar dos y medio dispositivos, por lo cual mensualmente se desarrollarían 48 unidades. En este sentido, en la tabla 4.4 se desglosa dichos rubros.

Tabla 4.4. Presupuesto mensual de fabricación.

	Costo mensual (USD)
Arriendo local	300
Servicios básicos	60
Materiales mensuales (48 uni)	1765
Nómina	800
Subtotal	2925

Costo Unitario, para este cálculo se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Costo Unitario} = \frac{\text{Costo mensual}}{\text{Unidades fabricadas mensualmente}}$$

$$\text{Costo Unitario} = \frac{2925 \text{ Dolares}}{48 \text{ Unidades}}$$

$$\text{Costo Unitario} = \mathbf{60.94 \text{ Dolares/Unidad}}$$

Una vez obtenido el costo unitario del producto, se calcula el costo total del producto tomando en cuenta la utilidad del 5% y ganancia del 25%, en la tabla 4.5 se indica el desglose de estos valores.

Tabla 4.5 Costo de venta al público

Costo del Producto (USD)	
Costo Unitario	60.94
Utilidad (5%)	3.04
Ganancia (25%)	15.24
Total	79.22

CONCLUSIONES

Las conclusiones y recomendaciones producto del proceso de diseño seguido se presentan a continuación:

- Una vez analizado los referentes comerciales y académicos se determinó la inexistencia de un dispositivo capaz de ayudar en la rehabilitación del hombro y que a su vez fuese económicamente accesible. Logrando reducir aproximadamente en un 90% el costo en comparación con su semejante más económico reportado en el capítulo I.
- Las técnicas de investigación utilizadas, permitieron establecer las variables de diseño que regirían el desarrollo del dispositivo, como son la comodidad, portabilidad, funcionalidad (movimientos múltiples), estética a un precio económicamente bajo (80 USD aproximadamente). Adicionalmente, se desarrolló una propuesta de diseño basada en un mecanismo sencillo y con materiales disponibles en el mercado nacional.
- El proceso de diseño seguido para el desarrollo de un prototipo de rehabilitación de hombro consideró la evaluación y selección de posibles alternativas de solución para el sistema de accionamiento, el modelado y documentación de la geometría del dispositivo de rehabilitación en un paquete CAD, la realización del estudio cinemático con la ayuda de herramientas CAE y la manufactura del prototipo con un programa CAM.
- Una vez validado por expertos en el área de fisioterapia del Hospital San Vicente de Paul y el Centro de Fisioterapia y Rehabilitación “Fisiovida”, se evidenció que el diseño propuesto cubre los requisitos y necesidades para lo que fue diseñado, proporcionando portabilidad, funcionalidad, comodidad y estética a un precio relativamente bajo. No obstante, es cierto que todavía existe un cierto margen de mejora en el producto, pues sería necesario ensayarlo (pruebas físicas-mecánicas) para comprobar su

correcto funcionamiento y realizar el proceso de retroalimentación pertinente.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio del sistema del rehabilitador de hombro, se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Realizar un estudio de mercado que ayude a conocer a fondo la oferta y la demanda, así como los precios y los canales de distribución del producto en el ámbito traumatológico y fisioterapéutico tanto en Ibarra como en el norte del país.
- Realizar un estudio de ingeniería profundo, específicamente simulaciones considerando la fatiga del material por cargas repetitivas, ya que, en procesos de rehabilitación de hombro, es interesante valorar cual podría ser la duración de los diferentes elementos que resisten cargas variantes en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Ortiz, W. (2014). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UN CENTRO DE REHABILITACION FISICA, PARA PACIENTES CON INCAPACIDADES TEMPORALES, EN LA CIUDAD DE IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA*. IBARRA.
- Álvarez, V. D. (2018). *Diseño de un dispositivo para rehabilitacion de hombro*. Merida: Universidad de los Andes.
- Armstrong, M. (02 de 2011). *Orthoinfo*. Obtenido de <https://orthoinfo.aaos.org/en/diseases--conditions/shoulder-impingementrotator-cuff-tendinitis>
- Autodesk. (2020). *Impresion 3D*. Obtenido de ¿Qué es la impresión 3D?: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing>
- Ayala-Lozano, J. F., Urriolagoitia-Sosa, G., Romero-Angeles, B., Torres-San Miguel, C. R., Aguilar-Pérez, L. A., & Urriolagoitia-Calderón, G. M. (2015). Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior. *Revista Colombiana de Biotecnología, XVII(1)*, 79-90. doi:10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.44188
- Barrios, L. J., Minguillón, J., Perales, F. J., Ron-Angevin, R., Solé-Casals, J., & Mañanas, M. A. (2017). Estado del Arte en Neurotecnologías para la Asistencia y la Rehabilitación en España: Tecnologías Auxiliares, Trasferencia Tecnológica y Aplicación Clínica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 14(4)*, 355 - 361. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.riai.2017.06.004
- Beach, J. (09 de 2012). *PubMed*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22851737>
- Beny, L., & Oster, L. (1999). *EEUU Patente nº US6676612B1*.
- Blausen Medical. (17 de 02 de 2016). *Blausen*. Obtenido de <https://blausen.com/es/video/anatomia-del-hombro/>
- BonuttiBoris, P. M., Bonutti, P., & Phillips, K. R. (2009). *EE.UU Patente nº US8905950B2*.
- Brotzman, B. (2005). *Rehabilitacion Ortopédica Clínica*. España: Elsevier España.
- Brown, C. S. (1987). *EEUU Patente nº US4665905*.
- Camuendo, L. (2019). *DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE UNA PRÓTESIS DE RODILLA PARA JÓVENES CON GRADO DE MOVILIDAD I*. Ibarra: PUCESI.

- Canwell Medical LTD. (2019). *Products Detail*. Obtenido de Shoulder joint CPM JKJ-1:
http://en.canwell.com.cn/products_detail/productId=253.html
- Chagna, A. (2017). *“DISEÑO CONCEPTUAL DE UN DISPOSITIVO PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA”*. Ibarra: PUCESI.
- Clemens, L. M., Rembold, W. T., & Ashford, D. L. (1999). *EEUU Patente nº US006001075A*.
- Cleveland, C. (06 de 2015). *Cleveland Clinic*. Obtenido de
<https://health.clevelandclinic.org/is-your-shoulder-pain-actually-caused-by-a-neck-problem/>.
- De Lima, H. (2016). *Análisis cinemático de un exoesqueleto para rehabilitación del miembro superior (Tesis de Maestría)*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Easytech. (2019). *La Rehabilitación suave*. Italia.
- Enfría, A. (2007). *PubMed*. Obtenido de
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17606671>
- Escuder, E. (2017). *diseño de órtesis de miembro superior aplicable a rehabilitaciones y como exoesqueletos (Tesis de Grado)*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UPM).
- Expert Choice. (2018). *Nuestra metodología de toma de decisiones*. Obtenido de Soluciones Expert Choice: cómo funciona nuestro proceso de decisión:
<https://expertchoice.com/our-decision-making-methodology/>
- Fierro, D. G. (2019). *Guido Fierro*. Obtenido de <https://guidofierro.com/diagnostico-y-tratamiento/hombro/anatomia-del-hombro/>
- Gallucci, G. L., Boretto, J. G., Alfie, V. A., Donndorff, A. G., Dávalos, M. A., & De Carli, P. (2008). Ortesis dinámicas para el tratamiento de la rigidez del codo. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*(73), 171-176.
- Galvez. (2014). *Aparato para ejercitar las articulaciones del hombro y codo*.
- García Quiñónez, F. (2013). *“VALORACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE CHANDLER EN PACIENTES CON TENDINITIS DE MANGUITO ROTADOR QUE ASISTEN AL CENTRO DE SALUD URBANO “POLICÍA NACIONAL” DURANTE EL PERIODO DE 2011 A 2012”*. Ibarra: UTN.
- Gillespie, R. B. (2016). *eMbot*. Michigan: Universidad de Michigan.

Giménez Belmonte, D. J. (s.f.). *Cirugía del Hombro*. Obtenido de <https://www.cirugiadelhombro.es/humero/>

Gómez Acevedo, J. M. (12 de 09 de 2014). <http://www.medigraphic.org.mx/>. Obtenido de <http://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2014/ot143b.pdf>

Grunenthal. (2019). *Guía para el abordaje del hombro doloroso. Tratamiento Rehabilitador tras la Cirugía Artroscópica del manguito de los rotadores*. Madrid, España.: Guial DNL.

Hensley, D. E., & Kielman, B. (1989). *EEUU Patente nº US4865024*.

Hepburn, G. R. (1987). *EEUU Patente nº US4657000*.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI]. (2009). *Proceso de diseño: fases para el desarrollo de productos*. Obtenido de Centro de Investigaciones y Desarrollo en Diseño Industrial: https://www.inti.gov.ar/prodiseno/pdf/n141_proceso.pdf

Jianbin, Z., Xiaofeng, L., Zhong, L., Zhongyi, L., & Weihai, C. (2017). *China Patente nº CN107260488A*.

JM MEDICAL. (2019). *JM MEDICAL*. Obtenido de <https://www.jmmedicalec.com/>

John J. Quintinskie, J. (2018). *EE.UU Patente nº US6007500A*.

Kelly, R. A. (2009). *EE.UU Patente nº US8529479B2*.

Kessler, D. (15 de 08 de 2015). *Doctor Shealth Press*. Obtenido de <https://www.doctorshealthpress.com/pain-articles/is-there-a-connection-between-shoulder-and-neck-pain/>.

Kinetec. (2019). *Productos*. Obtenido de [enraf.es](http://www.enraf.es/): <http://www.enraf.es/productos/kinetec-centura-5-maquina-cpm-hombro/?lang=pt-ptfeed>

Kipnis, A., & Belman, Y. (1995). *EEUU Patente nº US005399154A*.

Kondak. (2000). *Kondak* . Obtenido de <https://kdrehab.en.alibaba.com/>

Kooii, H. v. (2019). *Dampace y Limpact*. Holanda: Universidad de Twente.

Kuman, V. (2002). *Biomechanics of the shoulder*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12395643>

Lee, B. (28 de 01 de 2012). *PubMed*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22014477>

- Macao, C., & Nacipucha, J. (2016). *Diseño e implementación de un prototipo de exoesqueleto destinado a la rehabilitación de codo (Tesis de Grado)*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Maceira, J. (30 de 07 de 2018). *jesús.maceira*. Obtenido de <https://jesusmaceira.com/disenio-inclusivo-12-formas-de-disenar-para-todos/>
- Martínez, M. (2011). *Diseño de un banco de pruebas para un exoesqueleto de miembro superior (Tesis de Grado)*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Mauldin, D. M., & Jones, R. E. (1984). *EEUU Patente nº US4433679*.
- Mavroidis, C., Nikitczuk, J., Weinberg, B., Danaher, G., Jensen, K., Pelletier, P., . . . Yasevac, D. (2005). Smart portable rehabilitation devices. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2-18. doi:10.1186/1743-0003-2-18
- Mei, Z. (2015). *An Approach For The Development of Low Cost Prosthetic Lims with 3D Printinh Tecnology (master's thesis)*. Auburn, Alabama: Auburn University.
- Mendoza Álvarez, V. D. (2018). *Diseño de un dispositivo para Rehabilitacion de Hombro*. Merida: Universidad de los Andes.
- Mio, R. (2014). *Diseño de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior accionado por una interfaz cerebro-máquina (Tesis de Grado)*. Lima: Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Mitchell, A., Muir, W. L., & DeLorenzo, R. (1991). *EEUU Patente nº US5036837*.
- Moya, P., & Stephanie, V. (2014). *Diseño y construcción de un prototipo funcional controlado por computadora para la rehabilitación de codo y muñeca (Tesis de Grado)*. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Nextan PTE. (2019). *SHOULDER REHABILITATION DEVICE (SRD)*. EE.UU.
- OrthoInfo. (2012). *OrthoInfo*. Obtenido de <https://orthoinfo.aaos.org/es/diseases--conditions/compresion-del-hombro-tendinitis-del-manguito-rotador-shoulder-impingementrotator-cuff-tendinitis/>
- Ortoweb Medical SL. (2019). Obtenido de Kinetec -Movimiento continuo pasivo (CPM): <https://www.ortoweb.com/deporte-y-rehabilitacion/rehabilitacion-y-mecanoterapia/kinetec-movimiento-continuo-pasivo-cpm-1>
- Ospina, P. (2017). *Diseño e implementación de un prototipo funcional a escala de exoesqueleto, para rehabilitación de miembro superior, con dos grados de libertad en el plano sagital (Tesis de Grado)*. Bogota: Universidad Santo Tomás.

- Pérez, N. (2012). *Diseño de órtesis activa de codo para rehabilitación de pacientes espásticos (Tesis de grado)*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma De México.
- Perles, J. (01 de 06 de 2016). *Juan Perles*. Obtenido de <https://www.jpterapiasmanualesvigo.com/2016/06/01/hombro-doloroso-tendinitis-del-manguito-de-los-rotadores-s%C3%ADndrome-de-pinzamiento-bursitis-subacromial/>
- Peter M. Bonutti, B. P. (2009). *EE.UU Patente nº US8905950B2*.
- Peter M. Bonutti, C. A. (2016). *EE.UU Patente nº US7955285B2*.
- PK, E. (12 de 2017). *PubMed*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28704624>
- Plus, M. (09 de 07 de 2017). *Medline Plus*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000438.htm>
- Prentice, W. (2001). *Técnicas de rehabilitación en medicina deportiva (Vol. 44)*. Paidotribo.
- Raschhofer, R. (31 de 10 de 2017). *PubMed*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28933605>
- Rohringer, S. (15 de 02 de 2020). *All3dp*. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/>
- Sánchez, E. (2018). *Anatomía y fisiología*. Obtenido de Articulación del hombro: <https://mejorconsalud.com/articulacion-del-hombro/>
- Segnini, J., Chagna, A., & Vergara, M. (2018). Diseño de un dispositivo de autorehabilitación pasiva de rodilla. *Axioma*.
- Segnini, J., Chagna, A., & Vergara, M. (2018). Diseño de un dispositivo para autorehabilitación pasiva de rodilla. *Axioma*, XIV(18).
- Segnini, J., Vergara, M., & Provenzano, S. (2017). Prospectiva para el diseño y fabricación de una ortesis impresa en 3D. En *Diseño de dispositivos de rehabilitación y órtesis* (págs. 153-175). Ibarra: Consejo de Publicaciones de la Universidad de los Andes.
- Significados. (04 de 03 de 2018). *Significados.com*. Obtenido de <https://www.significados.com/modelo/>
- Simmons, R. (2008). *EEUU Patente nº US20100160986A1*.

- Singer, R. D., & Trickey, E. A. (1992). *EE.UU Patente nº US5252102A*.
- Surgeons, A. A. (5 de 10 de 2012). *OrthoInfo*. Obtenido de <https://orthoinfo.aaos.org/en/recovery/rotator-cuff-and-shoulder-conditioning-program/>
- Tecnologia y Informatica. (2018). *Tecnologia + Informatica*. Obtenido de <https://www.tecnologia-informatica.com/impresoras-3d-que-son-como-funcionan-impresion-3d/>
- Therapy, A. P. (12 de 2015). *PubMed*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26995456>
- Torrencillas, T. (2015). *Ortopedia "fashion" para mejorar la autoestima*. Obtenido de El País: <https://smoda.eñáis.com/moda/ortopedia-fashion-para-mejorar-la-autoestima/>
- Vaca, D. (2019). *Diseño de órtesis activa para rehabilitación de codo (tesis de Grado)*. Ibarra: PUCESI.
- VisualPlus. (2010). *Diseño Inclusivo: Por un diseño democrático*. Obtenido de VisualPlus: <http://visualplus-forteza.blogspot.com/2010/11/disenio-inclusivo-por-un-diseno.html>
- Wang, X., Song, Q., Wang, X., & Liu, P. (2018). Kinematics and Dynamics Analysis of a 3-DOF Upper-Limb Exoskeleton with an Internally Rotated Elbow Joint. *Applied Sciences*, 8(3), 464. doi:10.3390/app8030464
- Webber, R. T., & Meredith, J. O. (2007). *EE.UU Patente nº US7331911B2*.
- Webber, R. T., & Meredith, J. O. (2007). *EE.UU Patente nº US7717832B2*.
- Xunta. (16 de 08 de 2017). *xunta.com*. Obtenido de https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/1_qu_son_los_mecanismos.html
- 吴珍珍. (2010). *China Patente nº CN301358006S*.

Anexos

Anexo A. Encuestas a Pacientes

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Puentes L
 Edad: 23
 Sexo: Masculino
 Causa de la lesión: Tuaca Voicer

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.		X	
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Pascual L
 Edad: 32
 Sexo: Masculino
 Causa de la lesión: Movimiento Repetitivo

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.		X	
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.			X
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.			X

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Paciente 3
 Edad: 41
 Sexo: Masculino
 Causa de la lesión: Caida

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.			X
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.		X	
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.		X	
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados		X	
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Pacientes 4
 Edad: 25
 Sexo: Femenino
 Causa de la lesión: Movimientos repetitivos

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.		X	

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Paciente 5
 Edad: 17
 Sexo: Masculino
 Causa de la lesión: Movimientos Recurrentes

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.		X	
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.		X	
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Paciente 6
 Edad: 20
 Sexo: Femenino
 Causa de la lesión: Movimiento Restringido

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.		X	
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.		X	
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.			X
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Paciente 7
 Edad: 22
 Sexo: Masculino
 Causa de la lesión: Jugar Voley

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.			X
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL
 Lic. Kleber Martínez
 C.I. 100321941-5

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Paciente 8
 Edad: 28
 Sexo: Femenino
 Causa de la lesión: Traumatismo

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.			X
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados		X	
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: PACIENTE 9
 Edad: 26
 Sexo: FEMENINO
 Causa de la lesión: CALCA

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.		X	

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Paciente 10
 Edad: 33
 Sexo: Masculino
 Causa de la lesión: Movimiento Repetitivo

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: RODRIGUEZ H
 Edad: 29
 Sexo: MASCULINO
 Causa de la lesión: Movimiento Repetitivo

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.		X	
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.			X
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Pascucci 12
 Edad: 37
 Sexo: Masculino
 Causa de la lesión: Marcosano 16/05/2010

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.			X
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Paciente 13
 Edad: 27
 Sexo: Femenino
 Causa de la lesión: Cuero

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Pascual 14
 Edad: 39
 Sexo: Masculino
 Causa de la lesión: Movimientos Repetitivos

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.		X	

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Pacienta 15
 Edad: 32
 Sexo: Femenino
 Causa de la lesión: Movimientos Repetitivos

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.		X	
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.		X	

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Presente 16
 Edad: 22
 Sexo: Masculino
 Causa de la lesión: Lesión Vozel

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.

Nombre del paciente: Paciente 17
 Edad: 48
 Sexo: Femenino
 Causa de la lesión: Caida

Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy Importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.			X
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

GUÍA DE ENTREVISTA

DETECCIÓN DE NECESIDADES / REHABILITADOR DE HOMBRO.


Nombre del paciente: PACIENTE 18
 Edad: 24
 Sexo: FEMENINO
 Causa de la lesión: NATACIÓN

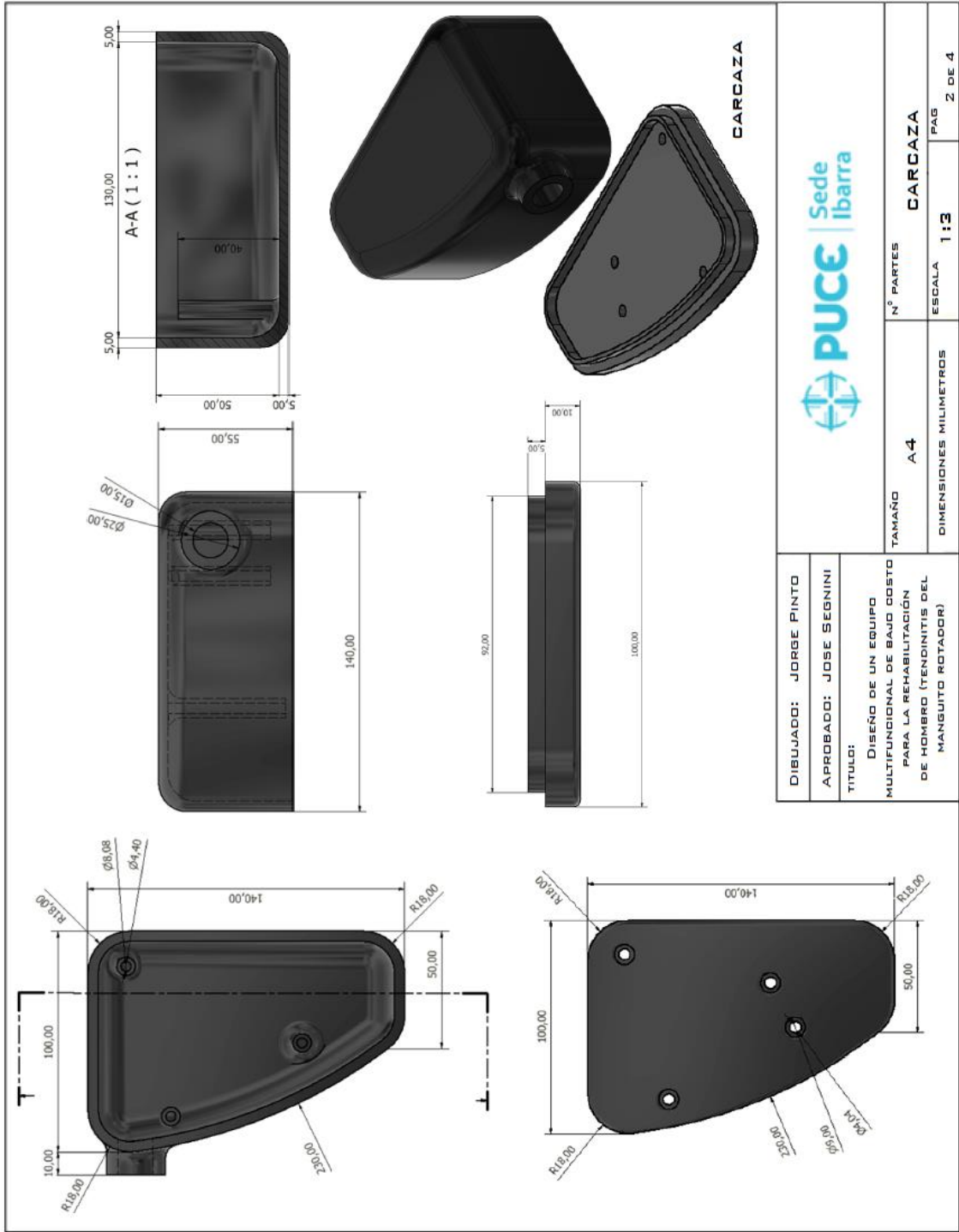
Importancia de las siguientes características del rehabilitador:

	Muy importante	Importante	Indiferente
Comodidad: Se refiere al bienestar que proporciona el uso del rehabilitador.	X		
Portátil: Se refiere a que el rehabilitador pueda ser fácil de transportar y con facilidad.	X		
Estético: Se asocia a la proyección visual del rehabilitador, su apariencia física.	X		
Multi Movimientos: Debe cumplir con movilidad en los 3 ejes, para que los movimientos preestablecidos sean realizados.	X		
Costo: Se refiere a la cantidad de dinero que es necesario invertir para la adquisición del rehabilitador.	X		

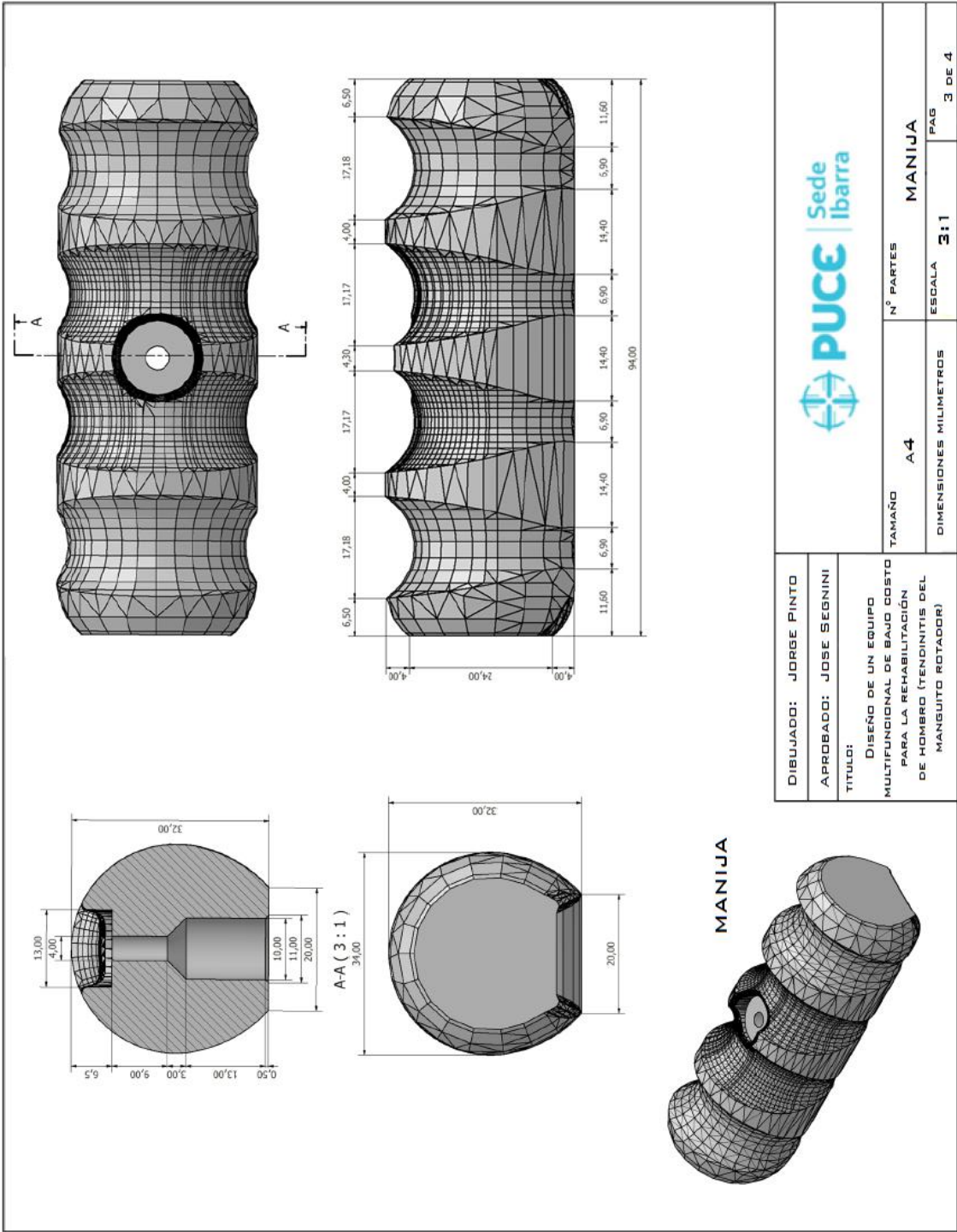
Anexo B. Planos constructivos del rehabilitador

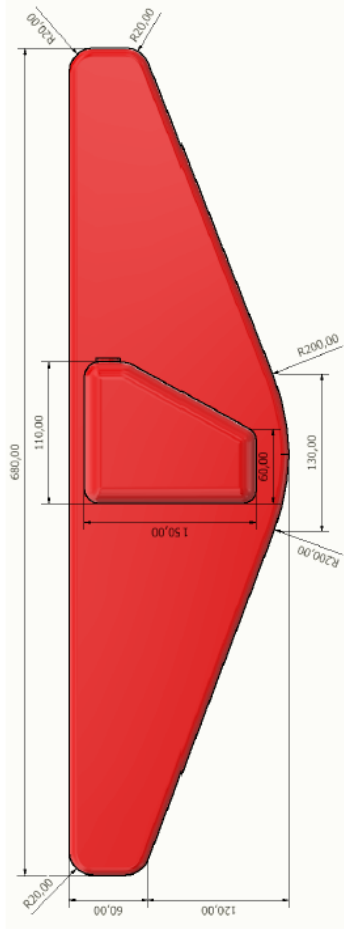
LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT	NUMERO DE PARTES	DESCRIPCIÓN
1	1	CARCAZA	PLA
2	1	SUJECIÓN DE BINTURA	TELA NEOPRENO
3	1	MANIJA	PLA

DIBUJADO: JORGE PINTO			
APROBADO: JOSE SEGNI			
TÍTULO: DISEÑO DE UN EQUIPO MULTIFUNCIONAL DE BAJO COSTO PARA LA REHABILITACIÓN DE HOMBRO (TENDINITIS DEL MANGUITO ROTADOR)			
TAMAÑO	A4	Nº PARTES	ENSAMBLE - DESPIECE
DIMENSIONES MILIMETROS	ESCALA 1:3	PAG	1 DE 4

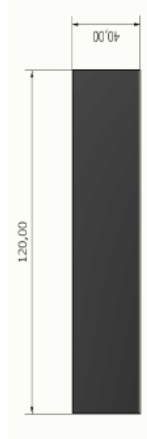


DIBUJADO: JORGE PINTO			
APROBADO: JOSE SEGNINI			
TÍTULO: DISEÑO DE UN EQUIPO MULTIFUNCIONAL DE BAJO COSTO PARA LA REHABILITACIÓN DE HOMBRO (TENDINITIS DEL MANGUITO ROTADOR)		TAMAÑO A4	Nº PARTES CARCAZA
		DIMENSIONES MILIMETROS 1:3	PAG 2 DE 4

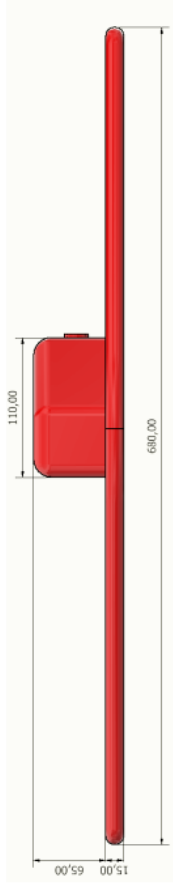




CORREA IZQUIERDA



CORREA DERECHA



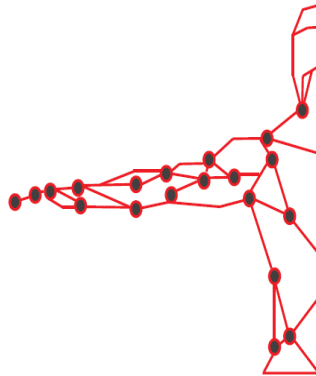
DIBUJADO: JORGE PINTO	TÍTULO:
APROBADO: JOSE SEGUNINI	TÍTULO:
DISEÑO DE UN EQUIPO MULTIFUNCIONAL DE BAJO COSTO PARA LA REHABILITACIÓN DE HOMBRO (TENDINITIS DEL MANGUITO ROTADOR)	
TAMAÑO A4	N° PARTES SUJECCIÓN DE CINTURA
DIMENSIONES MILIMETROS	ESCALA 1:2
	PAG 4 de 4

Anexo C. Marca

MARCA

REHO
REHABILITADOR DE HOMBRO

1) LOGOTIPO



2) ISOTIPO



3) IMAGOTIPO

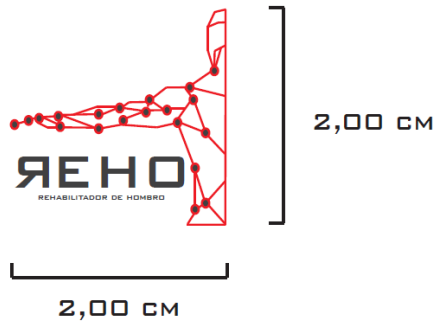
SISTEMA CROMATICO



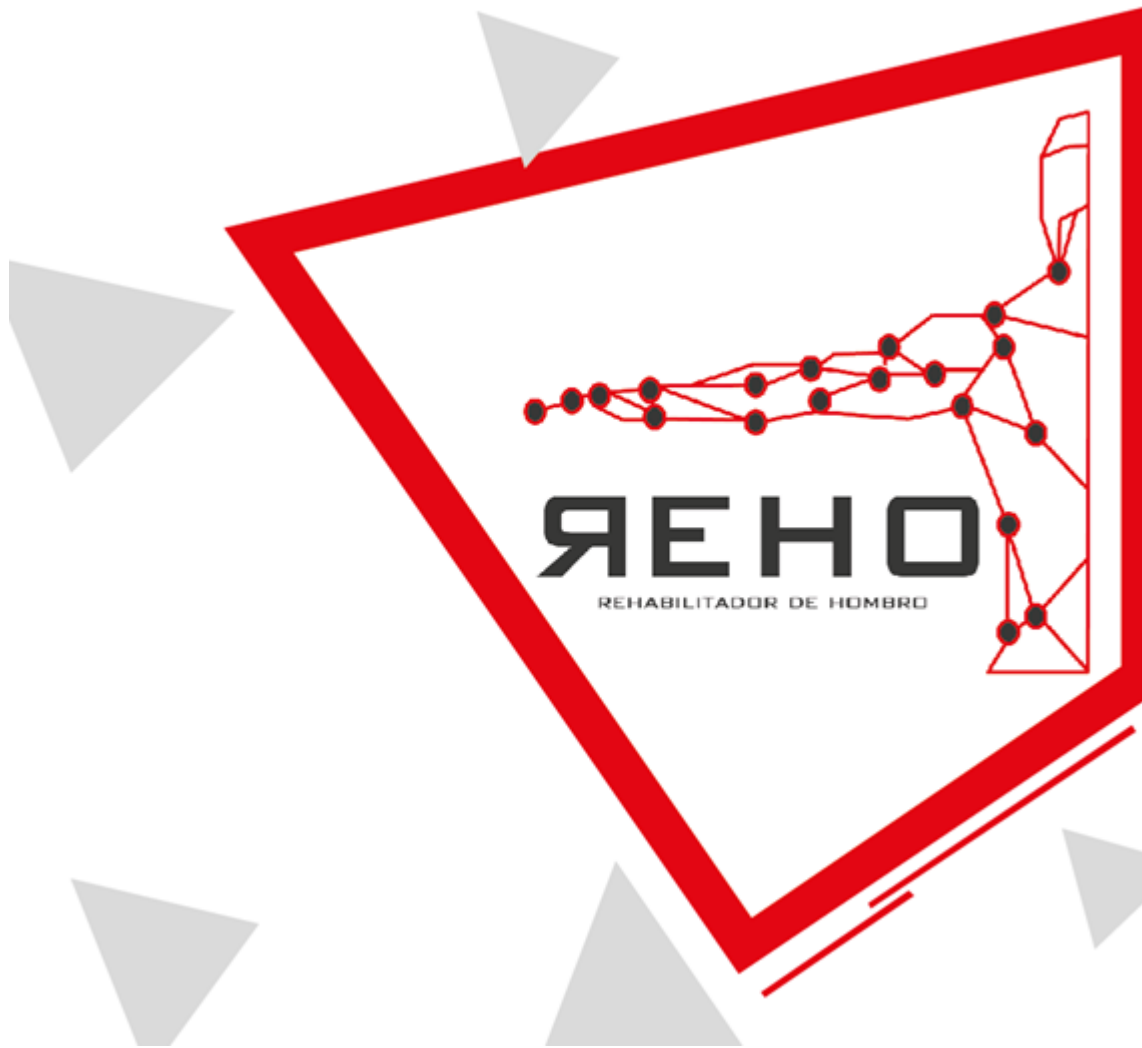
C = 0
M = 0
Y = 0
K = 90

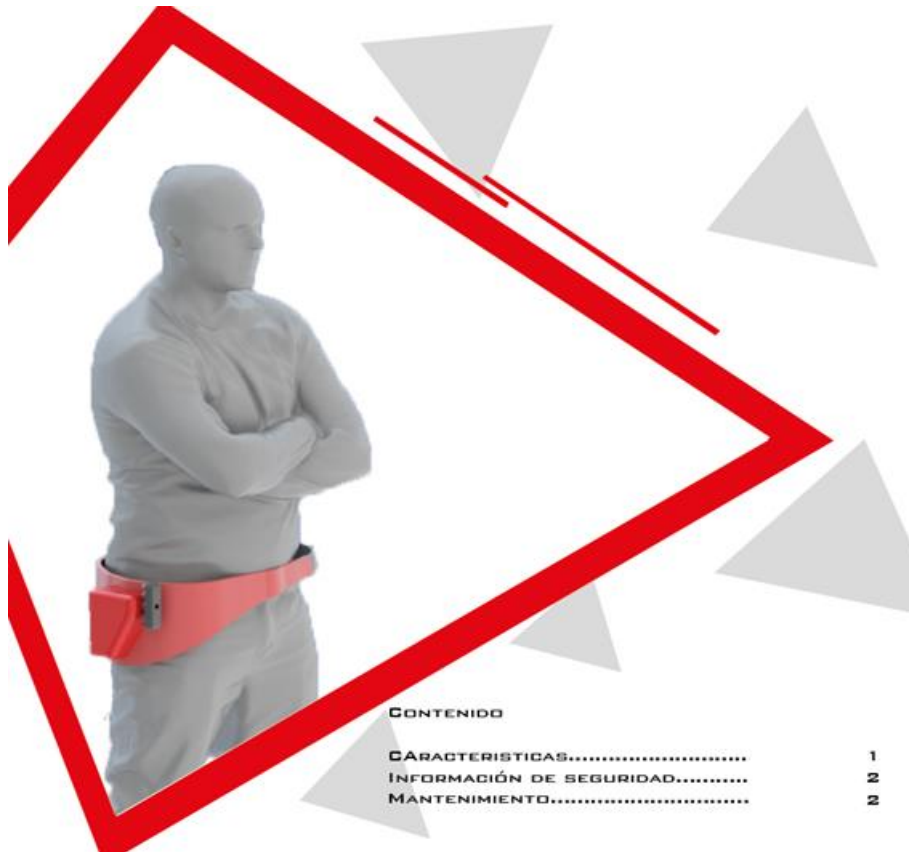
C = 0
M = 100
Y = 100
K = 0

TAMAÑO MÍNIMO DE REDUCCIÓN



Anexo D. Manual de usuario





CONTENIDO

CARACTERÍSTICAS.....	1
INFORMACIÓN DE SEGURIDAD.....	2
MANTENIMIENTO.....	2



CARACTERISTICAS:

- COMODIDAD
- PORTATIL
- ESTETICO
- MULTI MOVIMIENTO
- COSTO

REHO

REHABILITADOR DE HOMBRO



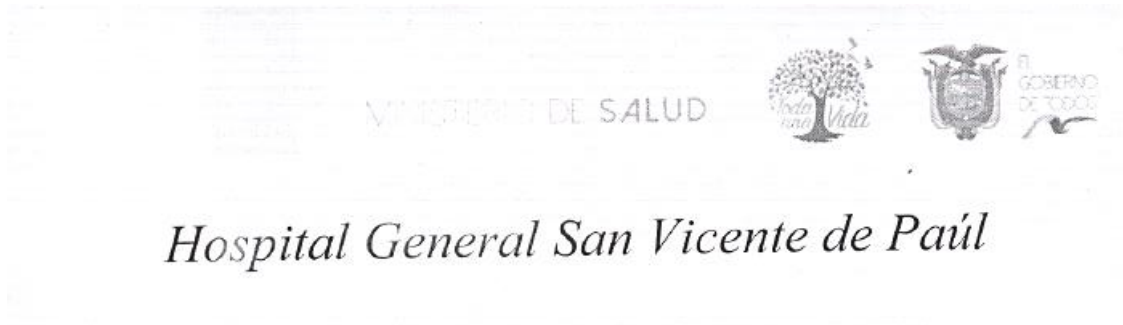
INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

- COLOCAR EL REHABILITADOR EN LA CINTURA BAJA PARA QUE LOS MOVIMIENTOS PUEDAN SER REALIZADOS DE MANERA EFECTIVA.
- NO UTILIZAR REHABILITADOR HASTA LA 10MA SEMANA DE REHABILITACIÓN O CUANDO SU FISIOTERAPISTA LO CREA CONVENIENTE.
- NO EXPONGA ESTE PRODUCTO A LA HUMEDAD, AGUA, MATERIALES CORROSIVOS O PH EXTREMOS.

MANTENIMIENTO

- NO USE AIRE COMPRIMIDO PARA REALIZAR LA LIMPIEZA.
- UTILIZAR UNAS GOTAS DE ACEITE PARA LUBRICAR EL MECANISMO.
- NO LIMPIAR CON AGUA EL MECANISMO.

Anexo E. Validación del producto.



Ibarra, 17 de Febrero de 2020

CERTIFICO

A petición del interesado, certifico que el aparato creado por el estudiante con fines terapéuticos para usuarios que acuden a esta casa de salud con lesiones de hombro, como es la tendinitis del Manguito Rotador, fue adaptado a los pacientes como parte de su tratamiento resultando muy positivo para su recuperación y su facilidad para usarlo.

En tal sentido puedo confirmar y validar el uso del aparato en Lesiones de Hombro que fue presentado y creado por el estudiante de la Universidad Católica.

Es todo lo que puedo decir en honor a la verdad, el estudiante Jorge Pinto puede hacer uso del presente certificado como lo creyere conveniente.

Atentamente,


Lic. Kleber Martínez
HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL
C.I. 100321941-5
LIDER DE REHABILITACIÓN Y TERAPIA FÍSICA



Anexo F. Verificación y Testeo



