

ÓRTESIS DE HOMBRO CON SISTEMA DE ELECTROESTIMULACIÓN Y TERMOTERAPIA

Santiago Mesias Santamaría

Maria Teresa De Ossa Jiménez

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas

Ingeniería Biomédica

Octubre 09 de 2015

RESUMEN

La lesión de hombro es uno de los problemas más comunes en deportistas de alto rendimiento que trabajan con las extremidades superiores y en personas del común que sufran accidentes que involucren las articulaciones de los brazos. Para estos traumas o lesiones hay múltiples disciplinas de rehabilitación, las cuales se presentan comúnmente por separado para los pacientes, haciendo el tiempo de rehabilitación un tanto largo. Las órtesis, las compresas, las terapias físicas y los sistemas TENS son algunos métodos utilizados en la rehabilitación que por lo general tienen presencia dentro de un proceso de recuperación pero en tiempos diferentes. Buscando una reducción del tiempo necesario para rehabilitar las lesiones de hombro como luxaciones, traumas y fracturas se puede pensar en un método que integre el máximo número de tratamientos posibles para así garantizar una satisfactoria recuperación y una disminución del tiempo que lleva el proceso de devolver la funcionalidad de la articulación al paciente. Con este fin se planteará en el siguiente documento una mejora a una órtesis semidinámica existente en el mercado que se pueda usar como apoyo antes y después de realizar las terapias físicas, tomando como base el método de rehabilitación de la órtesis e integrándole a esta, dos métodos más que serían, termo-terapia y electro-estimulación, buscando con esta integración una posible disminución del tiempo de la rehabilitación y reducción del dolor dentro del proceso aparte de un diseño equilibrado que permita la adaptación de los métodos de rehabilitación a la órtesis y, la implementación y ejecución óptima de ejercicios terapéuticos que le permitan al paciente la recuperación total de la funcionalidad en menor tiempo y con el menor dolor posible.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

La asesora Maria Teresa De Ossa por brindar todos sus conocimientos, paciencia y colaboración para con el proyecto para de esta manera guiarme y acompañarme durante todo el proceso, muchas gracias.

A mis padres, porque ellos son el motor de mi vida y el ejemplo para salir adelante y ser cada día una mejor persona.

A mis compañeros de carrera Lizeth Ospina, Julián Navarro y Kelly Sepúlveda, pues estuvimos juntos durante el proceso de formación y fuimos un apoyo incondicional todos para con todos.

ACRÓNIMOS

°C: Grados centígrados.

A: Amperios.

CAD: *Computer-Aided Design* – Diseño asistido por computadora.

CAM: *Computer-Aided MANufacturing* – Fabricación o manufactura asistida por computadora.

cm²: Centímetros cuadrados.

Hz: Hertz.

ISO: *International Organization for Standardization* – Organización internacional de estandarización.

Kg: Kilogramos.

mA: Miliamperios.

min: Minutos

s: Segundos.

TENS: *Transcutaneous electrical nerve stimulation* – Electroestimulador transcutáneo.

V: Voltios.

μs: Microsegundo.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| TÍTULO DEL PROYECTO DE GRADO | 1 |
| Autor | 1 |
| Director | 1 |
| RESUMEN..... | 2 |
| AGRADECIMIENTOS | 3 |
| ACRÓNIMOS..... | 4 |
| TABLA DE CONTENIDO..... | 5 |
| LISTA DE TABLAS | 6 |
| LISTA DE FIGURAS | 7 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 9 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 10 |
| 3. OBJETIVOS | 11 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 11 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 11 |
| 4. MARCO TEÓRICO | 12 |
| 5. ESTADO DEL ARTE | 17 |
| 6. METODOLOGÍA | 23 |
| 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 25 |
| 7.1 DISEÑO CAD CAM..... | 25 |
| 7.2 DISPOSITIVOS SELECCIONADOS PARA EL PROTOTIPO..... | 32 |
| 7.3 PROTOTIPO DE ÓRTESIS SEMIDINAMICA | 42 |
| 7.4 FUNCIONAMIENTO INTEGRADO DEL PROTOTIPO..... | 43 |
| 7.5 ESQUEMA DE ACTIVIDADES DE REHABILITACION | 46 |
| 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS..... | 48 |
| 9. PRODUCTOS..... | 50 |
| REFERENCIAS | 51 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Factores de riesgo, ocupaciones y enfermedades derivados de agentes físicos. | 18 |
| Tabla 2. Factores de riesgo, ocupaciones y enfermedades derivados de agentes ergonómicos. | 19 |
| Tabla 3. Otros factores de riesgo, ocupaciones y enfermedades derivados de agentes ergonómicos. | 19 |
| Tabla 4– Medidas antropométricas en Colombia vs sujeto de prueba..... | 27 |
| Tabla 5 – Comportamiento de la compresa en espacio abierto..... | 33 |
| Tabla 6 – Medidas de corriente expresadas en Amperios emitida por el equipo TENS en el tratamiento acupuntura..... | 36 |
| Tabla 7 – Medidas de corriente expresadas en Amperios emitida por el equipo TENS en el tratamiento golpe..... | 36 |
| Tabla 8– Medidas de voltaje expresadas en voltios emitida por el equipo TENS | 36 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1– [Órtesis estática] recuperado de http://professionals.ottobock.com.mx/cps/rde/xchg/ob_lam_es/hs.xsl/3341.html | 21 |
| Figura 2– [Órtesis semidinámica] recuperado de http://www.goural.es/ortesis-de-mantenimiento-del-hombro-codo-neurolux-ii-xml-1771_1844-2473.html | 21 |
| Figura 3– [Órtesis dinámica] recuperado de http://www.medicalexpo.com/prod/corflex/product-74844-456082.html#product-item_456418 | 22 |
| Figura 4 – [Diseño manual del prototipo – Vista Frontal] | 25 |
| Figura 5 – [Diseño manual del prototipo – Vista Frontal]..... | 26 |
| Figura 6 – [Diseño manual del prototipo – Vista Lateral]..... | 26 |
| Figura 7– [<i>Medidas antropométricas tomadas en el sujeto de prueba</i>] | 27 |
| Figura 8– [Diseño en software Cinema 4D] | 28 |
| Figura 9– [Diseño en software PTC Creo]..... | 28 |
| Figura 10– [Ubicaciones de los electrodos en el hombro] recuperado de: http://lasanateca.com/img/cms/Dossier%20Colocaci%C3%B3n%20Electrodos%20webr.pdf | 29 |
| Figura 11– [Vista superior del diseño]..... | 29 |
| Figura 12– [Vista frontal del diseño] | 30 |
| Figura 13– [Vista trasera del diseño] | 30 |
| Figura 14– [Vistas laterales del diseño]..... | 31 |
| Figura 15– [Medidas del diseño] | 32 |
| Figura 16– [Medidas de la compresa en cm] | 33 |
| Figura 17– [Sistema TENS de gimnasia pasiva] | 34 |
| Figura 18 – [Equipo TENS conectado a Multímetro]..... | 35 |
| Figura 19 – [Equipo TENS conectado a Osciloscopio] | 37 |
| Figura 20 – [Cambios de frecuencia en modo de trabajo Acupuntura tomados en Osciloscopio] ... | 38 |

| | |
|--|----|
| Figura 21 – [Frecuencia predeterminada 1 en modo de trabajo Acupuntura tomada en Osciloscopio] | 38 |
| Figura 22 – [Frecuencia predeterminada 2 en modo de trabajo Acupuntura tomada en Osciloscopio] | 39 |
| Figura 23 – [Frecuencia predeterminada 3 en modo de trabajo Acupuntura tomada en Osciloscopio] | 39 |
| Figura 24 – [Cambios de frecuencia en modo de trabajo Golpe tomados en Osciloscopio] | 40 |
| Figura 25 – [Frecuencia predeterminada 1 en modo de trabajo Golpe tomada en Osciloscopio] | 40 |
| Figura 26 – [Frecuencia predeterminada 2 en modo de trabajo Golpe tomada en Osciloscopio] | 41 |
| Figura 27 – [Frecuencia predeterminada 3 en modo de trabajo Golpe tomada en Osciloscopio] | 41 |
| Figura 28 - [Vistas de la órtesis] | 43 |
| Figura 29– [Vistas del prototipo de la órtesis con sistemas integrados] | 44 |
| Figura 30 – [comportamiento del TENS al tomar los valores con un multímetro] | 44 |
| Figura 31 – [Pruebas de funcionalidad del prototipo final de la órtesis en osciloscopio] | 45 |
| Figura 32 – [Cambios de frecuencia tomados del Osciloscopio] | 45 |
| Figura 33 – [Ejercicios de Codman] Recuperado de: http://www.tlahui.com/medic/medic33/acu_dolor.htm | 46 |

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En una lesión de hombro los métodos y tiempos estipulados de rehabilitación son aproximaciones que van desde 6 meses hasta un año y medio [1], teniendo en cuenta una recuperación ideal y una entrega y cuidado total por parte del paciente, en caso de que haya algún problema durante la recuperación el tiempo se puede ver afectado con un aumento en el periodo de rehabilitación. El factor tiempo va ligado directamente al dinero invertido, al aumento de la calidad de vida del paciente, a la disposición que tenga el paciente para llevar a cabo el proceso requerido y a la efectividad del trabajo realizado por el fisioterapeuta, es decir, que desarrollando una mejora en el tiempo que requiere rehabilitar a los pacientes con problemas en el hombro se desarrollaría indirectamente una mejora a los factores anteriormente mencionados. El problema radica en el tiempo que debe ser invertido en la rehabilitación del hombro, ya que con esta inversión, se van a ver afectados otros factores cruciales dentro del proceso de rehabilitación. En Colombia se usa comúnmente la órtesis de hombro convencional[2] y se encuentra también una órtesis que integra compresas como método alternativo de tratamiento[3] pero a la actualidad no hay indicios de una órtesis que integre otros métodos de rehabilitación. En este orden de ideas, se necesita desarrollar un método, proceso o equipo que permita optimizar el tiempo total de rehabilitación para pacientes con luxación o trauma de hombro, ya que, por ejemplo para un deportista de alto rendimiento se ve reflejado en un regreso anticipado a su deporte [4], [5] y en los pacientes que no practican deportes se ve reflejado en una inclusión a sus labores diarias en un tiempo menor [6].

2. JUSTIFICACIÓN

Existen múltiples métodos para rehabilitar las lesiones que pueden llegar a sufrir los seres humanos, se han visto grandes avances tecnológicos y más aún, se han desarrollado técnicas que cada vez permiten ver mejoras en los resultados obtenidos en los campos que se utilicen[7]; para cada tipo de lesión existe un tratamiento base que funciona con mayor precisión que los otros, aunque hay tratamientos secundarios que pueden ayudar a que el paciente disminuya el dolor durante el proceso o que su tiempo de rehabilitación sea menor.

Los tratamientos varían dependiendo del tipo de lesión que sufra el paciente, no es lo mismo rehabilitar una articulación que presente luxación o una fractura, que rehabilitar un paciente que haya sufrido un trauma en la cabeza y haya afectado sus habilidades motoras en la misma articulación[8], [9]. El método utilizado para rehabilitar a los pacientes tiene que estar supervisado constantemente por un doctor y un terapeuta, ambos profesionales deben ser especialistas en el área sobre la cual se desea implementar una rutina de rehabilitación.

Las personas que presentan problemas en la articulación del hombro se ven sometidas a diversos tipos de tratamientos que pueden ir desde, el uso de órtesis, definidas como, un dispositivo externo aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuro músculoesquelético (*ISO*), hasta la implementación de terapias basadas en termoterapia y ejercicios físicos[7]. Normalmente las personas que presentan limitaciones en el hombro son aquellas que sufren accidentes de tipo traumático que impliquen el tren superior del cuerpo, amas de casa que presentan desgaste en la articulación, y deportistas de alto rendimiento, ya sea por lesiones o por desgaste en la articulación. Los pacientes que se someten a tratamientos por problemas en el hombro tienden a presentar dolores significativos en el proceso de recuperación y suelen requerir aproximadamente entre 1 y 6 meses para lograr un porcentaje de recuperación, dependiendo de la lesión y el tratamiento que se adopte [10]; estos pacientes en muchos casos requieren más de un tipo de rehabilitación y puede que el tiempo requerido para la rehabilitación incrementa, es por esto que vemos la necesidad de innovar la órtesis de hombro por medio de la integración de dos métodos de tratamiento utilizados en rehabilitación: la electroestimulación y la termoterapia. Con el planteamiento adecuado de métodos de rehabilitación y la integración de técnicas en el proceso se espera optimizar el tiempo de recuperación de los pacientes y como consecuencia se podría disminuir el costo total del tratamiento.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un prototipo de órtesis para tratar lesiones de hombro en población masculina, por medio de la terapia térmica y la electroestimulación.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar mediante software CAD CAM las partes físicas del dispositivo.
- Realizar un prototipo de la órtesis según el diseño mediante el software CAD CAM y los elementos seleccionados de electroestimulación y termoterapia para adecuar al dispositivo mecánico.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo en los laboratorios de la institución.
- Proponer un esquema de rehabilitación en el que se incluya la órtesis dentro del proceso.

4. MARCO TEÓRICO

Una articulación es la unión de dos o más huesos para formar un punto de unión en el cuerpo, normalmente las articulaciones brindan unos rangos de movimiento dependiendo de la composición, los huesos implicados y la funcionalidad que cumplen dentro de la motricidad. El hombro es una articulación formada por tres huesos: el hueso del brazo (húmero), el hueso ancho y casi plano del hombro (omóplato o escápula) y el hueso del cuello (clavícula), en conjunto con tendones y ligamentos [11]. El hombro es la más móvil de todas las articulaciones al tener tres grados de libertad de movimiento. Además es de las más usadas por el ser humano.

Los principales problemas que afectan la articulación del hombro se comprenden en 4 grandes grupos que son:

- Inflamación del tendón o desgarro del tendón
- Inestabilidad
- Osteoartritis
- Fractura o luxación

Dentro de las principales patologías y problemas del hombro tenemos:

- Capsulitis retráctil: proceso repetitivo y doloroso que provoca una restricción gradual del movimiento del hombro.
- Inestabilidad traumática: se suele asociar a lesión del nervio axilar/circunflejo en pacientes jóvenes o se puede asociar con desgarros del manguito en pacientes mayores.
- Enfermedad del manguito rotador: el dolor se localiza en las superficies superior, anterior y lateral, y aumenta con las actividades que elevan el brazo por encima de la cabeza y con el reposo nocturno.
- Fracturas o luxaciones: Se presentan en cualquier persona, normalmente ocasionados por un golpe muy fuerte en la articulación o accidentes traumáticos.[12]

El tratamiento principal para lesiones de tipo no traumático puede implicar el uso de medicamentos, terapias físicas y reposo, mientras que para las lesiones traumáticas que son más complejas podemos encontrar métodos de rehabilitación más intensos, algunos ejemplos son:

- **Reducción:** Durante este proceso, el médico puede intentar algunas maniobras suaves para ayudar a que los huesos estén en su posición. Dependiendo de la

intensidad del dolor y la hinchazón, es posible que necesite un anestésico local o incluso anestesia general antes de la manipulación de los huesos.

- **Inmovilización:** Después de que los huesos vuelvan a la posición correcta, el médico puede inmovilizar la articulación con una férula o un cabestrillo durante varias semanas.
- **Medicamento para el dolor:** Después del proceso de reducción, el dolor severo debe mejorar. Pero si el dolor continúa, el médico también puede recetar un analgésico o un relajante muscular.
- **Cirugía:** Se puede necesitar cirugía si los vasos sanguíneos o los nervios están dañados o si el médico no puede mover los huesos dislocados de nuevo a las posiciones correctas. La cirugía también puede ser necesaria si ha tenido dislocaciones recurrentes, especialmente del hombro.
- **Rehabilitación:** Después de que la férula o el cabestrillo se retire, puede comenzar un programa de rehabilitación gradual diseñado para restaurar el rango de movimiento y la fuerza de la articulación.

[11], [13]

Por otro lado cuando la lesión requiere cirugía como en el caso de la cirugía de hombro artroscópica, cuyo proceso se realiza típicamente en las lesiones del manguito de los rotadores, tales como la tendinitis y los desgarres, así como para la eliminación de espolones óseos y bursitis que acompañan a un desgarre; vemos que aunque el proceso es mínimamente invasivo en comparación con la cirugía de hombro tradicional, el tiempo de recuperación es el mismo para ambos, y los resultados a menudo dependen de lo bien que el paciente siga el programa de rehabilitación, dicho programa puede incluir los siguientes métodos de rehabilitación:

- **Inmovilización:** Inicialmente después de la cirugía artroscópica del hombro del brazo se inmoviliza en un cabestrillo durante 2 a 4 semanas (dependiendo de la extensión de la cirugía y el paciente individual) con el movimiento restringido a colgar el brazo mientras se dobla en la cintura. Es importante no mover el brazo en esta etapa, ya que esto puede dañar la integridad de la cirugía.
- **Movimiento pasivo:** Una semana después de la cirugía artroscópica de hombro, el paciente comenzará la terapia física, en la que el terapeuta realizará ejercicios de movimiento pasivo como levantar el brazo afectado mientras el paciente está en decúbito prono. Esto continuará durante 4 a 6 semanas después de la cirugía inicial; el paciente no debe levantar el brazo durante este período.
- **Rehabilitación de fuerza:** Después de 4 a 6 semanas, el paciente de cirugía artroscópica del hombro puede empezar a hacer ejercicios de rehabilitación de resistencia mientras la parte afectada cobra fuerzas. Por lo general, esto implica levantar el brazo sin ayuda y ejercicios ligeros de estiramiento.
- **Recuperación completa:** Aproximadamente 3 meses después de la cirugía, los pacientes pueden empezar a hacer ejercicios de levantamiento gradual con un objetivo de peso de 5 a 10 libras (2,26 a 4,52 kg). Los pacientes continuarán

fortaleciendo el brazo y el hombro durante 3 meses; a los 6 meses después de la cirugía, la mayoría de los pacientes de cirugía artroscópica de hombro han recuperado 80 por ciento de su fuerza original. Las ganancias en la fuerza pueden continuar durante 2 años después de la cirugía. [10]

Los tiempos de recuperación siempre van a cambiar por múltiples factores como la edad, género del paciente, la disciplina puesta en el programa de rehabilitación, el grado de profesionalismo del especialista que dicte el tratamiento a seguir, entre otros.

En los principales tratamientos de lesiones en el hombro es necesario realizar un proceso de inmovilización que se lleva a cabo por medio de una órtesis. Las órtesis son definidas como un apoyo u otro dispositivo externo aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuro músculoesquelético (*ISO*). Se pueden clasificar en base a su función en estabilizadoras, funcionales, correctoras y protectoras. Cada tipo de órtesis va direccionada a un tipo de lesión en específico, las más utilizadas son las órtesis protectoras, ya que son aquellas órtesis que garantizan la efectividad de la recuperación del paciente en el estado postoperatorio [14]. La recuperación del paciente luego de someterse a algún proceso de rehabilitación para el hombro puede verse beneficiada utilizando otros procesos como la termoterapia y la electroestimulación.

La termoterapia consiste en aplicar, por un periodo de tiempo determinado, temperaturas calientes o frías sobre el área lesionada con el fin de obtener resultados que van a variar según la temperatura usada.

Un aumento controlado de la temperatura (Termoterapia) produce:

- Mejoramiento de la nutrición y de la oxigenación celular
- Mejora las defensas al aumentar la cantidad de los elementos de defensa
- Acción bactericida
- Acción antiinflamatoria (combate inflamaciones en estadio crónico)
- Acción analgésica
- Acción antiespasmódica
- Mejora la restauración celular
- Aumenta el drenaje linfático
- Favorece procesos de reparación tisular

Una disminución de la temperatura (Crioterapia) produce:

- Disminución del metabolismo tisular
- Disminución del flujo sanguíneo
- Disminución de la inflamación
- Disminución del edema

- Analgesia por acción directa sobre las terminaciones nerviosas e indirecta al disminuir el espasmo y la tumefacción
- Efecto antiespasmódico
- Aumento del metabolismo a expensas de las grasas
- Acción diurética

[15], [16]

Por otro lado está la electroestimulación, este proceso es el área de la fisioterapia que, mediante una serie de estímulos físicos producidos por una corriente eléctrica, consigue desencadenar una respuesta fisiológica, la cual se va a traducir en un efecto terapéutico. Utilizada comúnmente en traumas y recuperaciones postquirúrgicas.

Se engloba dentro de este término todas aquellas actuaciones en las cuales, de una forma u otra, se utiliza una corriente eléctrica en el cuerpo humano con fines terapéuticos.

El Estimulador Nervioso Eléctrico Transcutáneo (TENS) es un equipo de electroterapia que principalmente se utiliza solo o en combinación con analgésicos, alivian el dolor agudo y crónico asociado a cirugías, traumas, problemas músculo-esqueléticos y bursitis. Los equipos TENS también proporcionan alivio del dolor en el transcurso de la fisioterapia y durante el trabajo de parto y el parto.[17]

Se pueden aplicar dos tipos de electroestimulación en el paciente con el fin de enfocar el trabajo hacia un objetivo que puede ser, disminuir el dolor o estimular el músculo. La diferencia entre un método de trabajo y el otro radica en la frecuencia con la que se emiten los pulsos, de esta manera, si se busca disminuir el dolor se utilizan normalmente frecuencias entre 65 – 110 Hz con pulsos de baja duración (60 – 150 μ s) y con un valor de corriente por pulso que sea mayor a 200 mA ; por otro lado, si se busca realizar una estimulación en el músculo objetivo, normalmente se utiliza una frecuencia entre 30 – 60 HZ con pulsos en un rango de duración entre 200 – 300 μ s y con valor de corriente mayor a 200 mA y menor de 1,2 A.[17], [18]

Además de los métodos mencionados anteriormente se implementa rutinas de ejercicios físicos coordinadas por los terapeutas, mencionadas anteriormente y necesarias dentro de un proceso de rehabilitación en lesiones de hombro. [19] Una de las terapias físicas utilizadas en la rehabilitación son los ejercicios de Codman, los cuales se basan en movimientos pendulares que al ser ejecutados no producen dolor significativo y ayudan a la recuperación de la articulación.[19] Además de estos métodos existen otros basados en movimientos que requieren el uso de peso adicional que permiten una activación más rápida de los músculos de la articulación y permitiendo así la recuperación paulatina de la funcionalidad.

Dentro de una terapia normal se pueden incluir combinaciones de los métodos mencionados anteriormente para garantizar la recuperación total del paciente, brindando así una reducción del dolor y del tiempo que se debe invertir para lograr una óptima rehabilitación.

Otro de los métodos de rehabilitación utilizados en el hombro es la órtesis. Dicho dispositivo debe constar con un diseño previo en el cual se muestren sus principales características como las medidas, el material en el que están realizadas, entre otros; los softwares con propiedades CAD CAM son los más utilizados para todo tipo de diseños, desde diseños industriales hasta diseños simples de laboratorio. Un software CAD CAM es un programa que nos permite realizar diseños asistidos por computadora y manufacturar por medio de asistencia computarizada dichos diseños[20], algunas de las principales aplicaciones de dichos softwares son:

- Control de calidad e inspección.
- Diseño de calzados.
- Diseño de dados y moldes para fundición, en los que por ejemplo, se reprograman tolerancias de contracción (pieza II).
- Diseño de herramientas y electrodos para electro-erosión.
- Diseño y fabricación de prótesis.
- Distribución de planta.
- Planificación y calendarización de proceso.

Una vez realizado el diseño virtual de los componentes o herramientas que se deseen, el software es compatible con impresoras 3D, lo que lo hace un herramienta muy útil a la hora de producir en masa los diseños que se hayan realizado, y aunque uno de los principales inconvenientes que posee es que solo realiza manufactura para elementos sólidos y rígidos, es una de las herramientas más utilizadas para realizar diseños virtuales con miras a distribución en masa. [20]

5. ESTADO DEL ARTE

Uno de los índices más altos de lesiones en el mundo son las lesiones de tipo osteomuscular y de tejido blando, que se dan por movimientos repetitivos, traumas o la práctica de deportes. A nivel mundial en cuanto a deportes, se presentan tasas de lesiones que varían entre 1,7 y 53 lesiones por 1.000 horas de práctica deportiva, entre 0,8 y 90,9 por 1.000 horas de entrenamiento, entre 3,1 y 54,8 por 1.000 horas de competición y de 6,1 a 10,9 por 100 juegos [21]. Estos altos índices de lesiones se deben al estrés generado por la práctica deportiva y se origina en los deportistas un alto riesgo de sufrir lesiones agudas y crónicas. Las lesiones de hombro son frecuentes durante las competencias y constituyen aproximadamente de 8 - 13% de todas las lesiones deportivas. Generalmente se presentan durante actividades en las cuales se lleva repetitivamente el brazo por encima de la cabeza, como por ejemplo los nadadores, los lanzadores en el béisbol, los tenistas y los que practican el lanzamiento de jabalina. Sin embargo, también pueden presentarse por trauma directo como sucede en los jugadores de fútbol americano y rugby [21]. Estas lesiones pueden llegar a causar una incapacidad total o requerir un tratamiento extensivo que puede costarle la carrera a un deportista. Por otro lado, a nivel nacional, en el Decreto 1477 de 2014, el Ministerio de Trabajo Colombiano expide la tabla de enfermedades laborales y se encuentra que en Colombia existe un gran número de profesiones que están expuestas a factores de riesgo que pueden producir enfermedades en la articulación del hombro con probabilidades de lesiones agudas a corto o largo plazo. Las tablas 1, 2 y 3 contextualizan los factores de riesgo, las profesiones y los efectos sobre los trabajadores.

Tabla 1. Factores de riesgo, ocupaciones y enfermedades derivados de agentes físicos.

| AGENTES FÍSICOS | | |
|--|--|---|
| AGENTES ETIOLÓGICOS / FACTORES DE RIESGO OCUPACIONAL | OCUPACIONES / INDUSTRIAS El listado de ocupaciones e industrias no es exhaustivo. Se mencionan las más representativas, pero pueden existir otras circunstancias de exposición ocupacional. | ENFERMEDADES |
| <p>Vibraciones de cuerpo entero</p> <p>Vibraciones transmitidas a la extremidad superior por maquinarias y herramientas.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Conductores de vehículos pesados. - Operadores de grúas y equipos pesados. - Trabajos que implican el manejo de maquinarias que transmiten vibraciones como: martillo neumático, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadores, pulidores, esmeriles, sierras mecánicas, guadañas mecanizadas. <p>Utilización de remachadoras y de pistolas de sellado.</p> <p>Trabajos que exponen al apoyo del talón de la mano en forma reiterativa, percutiendo sobre un plano fijo y rígido así como los choques transmitidos a la eminencia hipotenar por una herramienta de percusión.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Síndrome de Raynaud (I73.0) ➤ Acrocianosis y acroparestesias (I73.8) ➤ Otros trastornos articulares no clasificados en otra parte: Dolor articular (M25.5) ➤ Síndrome Cervicobraquial (M53.1) ➤ Fibromatosis de la fascia palmar: "Contractura de Dupuytren" (M72.0) ➤ Lesiones de hombro (M75): Capsulitis adhesiva de hombro (hombro congelado, periartrosis de hombro) (M75.0); Síndrome de Manguito Rotador o Síndrome de Supraespinoso (M75.1); Tendinitis bicipital (M75.2); Tendinitis calcificante de hombro (M75.3); Bursitis de hombro (M75.5); Otras lesiones de hombro (M75.8); Lesiones de hombro no específicas (M75.9) ➤ Otras entesopatías (M77): Epicondilitis medial (M77.0); Epicondilitis lateral (M77.1); Mialgia (M79.1) ➤ Otros trastornos específicos de tejidos blandos (M79.8) ➤ Osteonecrosis (M87) ➤ Otras osteonecrosis secundarias (M87.3) ➤ Enfermedad de Kienbock del adulto (Osteocondrosis del adulto del semilunar del |

Tabla 2. Factores de riesgo, ocupaciones y enfermedades derivados de agentes ergonómicos.

| AGENTES ERGONÓMICOS | | |
|--|---|--|
| AGENTES ETIOLÓGICOS / FACTORES DE RIESGO OCUPACIONAL | OCUPACIONES / INDUSTRIAS El listado de ocupaciones e industrias no es exhaustivo. Se mencionan las más representativas, pero pueden existir otras circunstancias de exposición ocupacional. | ENFERMEDADES |
| Movimientos repetitivos, posturas forzadas, aplicación de fuerza combinada con movimientos repetitivos, posturas forzadas y/o vibraciones. | Ensambladores de autos, pintores, fresadores, torneros, operadores de presión, mecánicos que realizan montajes por encima del nivel de la cabeza, soldadores que realizan su actividad por encima del nivel de la cabeza, empacadores, almacenistas, albañiles, carteros, todos aquellos trabajadores que realizan continuamente abducción y flexión de hombro, que trabajan con las manos por encima del nivel de los hombros transporte de carga en el hombro y lanzamiento de objetos. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Lesiones de hombro (M75) ➤ Capsulitis adhesiva de hombro (hombro congelado, periartritis de hombro) (M75.0) ➤ Síndrome de manguito rotador o síndrome de supraespinoso (M75.1) ➤ Tendinitis bicipital (M75.2) ➤ Tendinitis calcificante de hombro (M75.3) ➤ Bursitis de hombro (M75.5) ➤ Otras lesiones de hombro (M75.8) ➤ Lesiones de hombro no especificadas (M75.9) |

Tabla 3. Otros factores de riesgo, ocupaciones y enfermedades derivados de agentes ergonómicos.

| | | |
|--|---|---|
| Posiciones forzadas y movimientos repetitivos de miembros superiores. | Ensambladores de autos, pintores, fresadores, torneros, operadores de presión, mecánicos. Todas aquellas actividades laborales que involucren posiciones forzadas y movimientos repetitivos de miembros superiores. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Trastornos del plexo braquial (Síndrome de salida del tórax, síndrome del desfiladero torácico) (G54.0) |
| Combinación de movimientos repetitivos con fuerza y/o con posturas forzadas de miembros superiores, con alta demanda de tareas manuales o con herramientas de vibración. | <ul style="list-style-type: none"> - Trabajadores de la industria textil (costureros, empacadores, tejedores y bordadores). Trabajadores de cultivos de flores. - Puestos y trabajos con tareas que demandan ejercer actividades manuales intensas en frecuencia y/o fuerza - Empacadores, mecánicos, músicos de cuerdas y percusión, ensambladores de línea, electricistas, pintores industriales, perforadores de piedra, odontólogos, higienistas orales, cajeras y trabajadores de aves de corral. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Mononeuropatías de miembros superiores (G56) ➤ Síndrome de Túnel Carpiano (G56.0) ➤ Síndrome de Pronador Redondo (G56.1) ➤ Síndrome de Canal de Guyón. Lesión del Nervio Cubital (Ulnar) (G56.2) ➤ Lesión del Nervio Radial (G56.3) ➤ Compresión del Nervio Supraescapular (G56.8) ➤ Otras mononeuropatías de miembros superiores (G56.8) |
| Posiciones forzadas y movimientos repetitivos de miembros inferiores. | Actividades económicas y ocupaciones que involucren posiciones forzadas y movimientos repetitivos de miembros inferiores. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Mononeuropatía de miembros inferiores (G57) ➤ Lesión del Nervio Popliteo Lateral (G57.3) |
| Esfuerzo vocal. | Personal que labora en centros de llamadas, cantantes, locutores, artistas, profesores y otras actividades que impliquen esfuerzo vocal. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Laringitis crónica (J37.0) ➤ Pólipo de las cuerdas vocales y de la laringe (J38.1) ➤ Nódulos de las cuerdas vocales y la laringe (J38.2) ➤ Disfonía (R49.0) |
| Posiciones forzadas y movimientos repetitivos. | Ocupaciones o actividades económicas con exposición a estos factores de riesgo. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Otras artrosis (M19) ➤ Otros trastornos articulares no clasificados en otra parte: Dolor articular (M25.5) ➤ Síndrome cervicobraquial (M53.1) |

La tabla de enfermedades laborales que está en el decreto 1477 de 2014 evidencia que en las actividades ocupacionales que se desarrollan en Colombia, existen un gran número de factores de riesgo cuyo resultado a largo o corto plazo se traduce en una lesión de hombro

que va a requerir tratamiento e intervención para devolver al trabajador la funcionalidad de la articulación y poder incorporarlo de nuevo en las labores diarias. Sin embargo, dentro de algunas empresas existen controles sobre la carga física que tienen los trabajadores, con el fin de aplicar medidas preventivas que permitan cuidar la integridad física de los empleados, promoviendo actividades como pausas activas, acondicionamiento físico, exámenes médicos, entre otras opciones; así mismo, hay empresas que no tienen en cuenta este tipo de actividades dentro de las rutinas diarias de los trabajadores conllevando a un impacto directo por parte de los factores de riesgo en los trabajadores [22], [23]. Dentro de las principales labores que presentan riesgo de lesiones de hombro tenemos la industria textil, operarios y mecánicos que realicen movimientos por encima de la cabeza, conductores de vehículos pesados y maquinaria, entre otros; estas labores representan una gran cantidad de trabajadores implicados que ponen en riesgo su integridad física debido a que se ven sometidos diariamente a factores de riesgo que implican una lesión de hombro y una disminución directa de la calidad de vida, la eficiencia laboral y la salud del trabajador. [24], [25]

Una vez se presenta una lesión en el hombro, los procedimientos más comunes van desde la reducción de la articulación hasta la cirugía en los casos más avanzados de la lesión. La reducción de la articulación es uno de los métodos más antiguos de tratamiento cuando se presenta una luxación de hombro, data desde 3000 años de antigüedad aproximadamente y consiste en realizar una maniobra de movimiento articular que permita unir los huesos en la cavidad escapulohumeral; otro tratamiento para las lesiones de hombro es la inmovilización que tiene por función limitar los movimientos del hombro para garantizar una recuperación satisfactoria y que no se presenten luxaciones ni un índice muy elevado de dolor en proceso, la inmovilización se realiza por medio de órtesis o cabestrillos dependiendo de la lesión que se presente y después de pasar por el periodo de inmovilización se procede a un periodo de rehabilitación enfocado a la recuperación del tono muscular y la movilidad [26].



Figura 1– [Órtesis estática] recuperado de http://professionals.ottobock.com.mx/cps/rde/xchg/ob_lam_es/hs.xml/3341.html



Figura 2– [Órtesis semidinámica] recuperado de http://www.goural.es/ortesis-de-mantenimiento-del-hombro-codo-neurolux-ii-xml-1771_1844-2473.html



Figura 3– [Órtesis dinámica] recuperado de http://www.medicalexpo.com/prod/corflex/product-74844-456082.html#product-item_456418

Actualmente se usan órtesis de tipo estáticas que son aquellas que no permiten movimiento articular, órtesis dinámicas que permiten movimientos articulares y órtesis de tipo semidinámico que permiten movimientos solo en ángulos determinados y bloquean movimientos inadecuados de la articulación [27], [28], el tipo de órtesis que se utiliza en un tratamiento estará limitado al tipo de lesión o a la aplicación que se le quiera dar a la órtesis. Los mayores avances en las órtesis son los exoesqueletos que se utilizan para corregir posturas o movilidad reducida, algunos avances dan indicios de exoesqueletos robóticos que permiten acelerar el proceso de rehabilitación en los pacientes [29]; se evidencian estudios en los materiales utilizados para la implementación de órtesis tales como neopreno y fibra de carbono, los cuales son materiales livianos al usuario y muy resistentes [30]. Se han diseñado órtesis dinámicas que integran rehabilitación con movimientos pasivos y activos con el fin de acelerar el proceso de recuperación total en el paciente [31]. Hasta la fecha no se encuentra información sobre mejoras o diseños en órtesis que integren sistemas de electroestimulación para la rehabilitación, se encuentra en el mercado diseños de órtesis con materiales que permiten el tratamiento con terapia térmica pero no se encuentran indicios de la integración de algún otro método externo de rehabilitación. [28], [32]

6. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la órtesis propuesta se procedió al diseño de cada componente por separado con el fin de identificar e incluir los aspectos más relevantes de los procesos de electroestimulación y de terapia térmica. El diseño virtual se trabajó en los softwares CAD CAM llamados Cinema 4D y PTC CREO: El diseño final se realizó en el software PTC CREO usando un maniquí como base para el modelado de la órtesis, ya que el resultado obtenido con el software Cinema 4D no cumplía con las características necesarias para el correcto desarrollo del proyecto, debido a la dificultad que presentaba dicho software para mostrar el diseño separado del maniquí base y al complejo diseño del prototipo por separado. El diseño virtual se realizó en base a las medidas tomadas del sujeto de prueba, las cuales están dentro del rango de medidas antropométricas de la población masculina Colombiana, dicho diseño consta de la órtesis modificada con unos bolsillos o compartimientos para colocar el equipo TENS, la compresa de gel y un sistema de canales para el paso de los electrodos y así poderlos ubicar de manera libre en el hombro.

Luego de tener el diseño virtual realizado se tomó como base dicho diseño para la implementación física de la órtesis. Las otras partes físicas del dispositivo, que son un TENS y una compresa de gel, fueron adquiridos en el mercado.

Se utilizó un dispositivo de electroestimulación de gimnasia pasiva que cumple con las dos frecuencias requeridas para la disminución del dolor y para la activación muscular: Dicho dispositivo se implementó en la órtesis por medio de un bolsillo que alberga el TENS y por un sistema de canales que permite ubicar los electrodos de manera específica sobre el hombro según se requiera. Por otro lado, se usó una compresa de gel que trabaja tanto en temperaturas altas como bajas. Para la integración de la terapia térmica en la órtesis, la compresa se ubicó en un bolsillo sobre la articulación del hombro y tiene una medida apta para cubrir la totalidad del hombro, lo que permite realizar una terapia térmica acorde a la bibliografía consultada y a la opinión de la fisioterapeuta.

El diseño mecánico se implementó en base al diseño virtual, el material escogido para la implementación fue neopreno, debido a la elasticidad, conductividad térmica, impermeabilidad, aislamiento eléctrico y a la buena respuesta del material con la piel. Una vez se diseñó el prototipo mecánico, se le integraron el TENS y la compresa de gel por medio de los compartimientos creados, para llevar a cabo las pruebas de laboratorio con el sujeto de prueba. Las medidas de voltaje y corriente se tomaron con un multímetro, y las frecuencias que el equipo emite se obtuvieron por medio de un osciloscopio.

La propuesta de un esquema de actividades de rehabilitación es fundamental dentro del proceso y para esto se realizó una búsqueda bibliográfica sobre las principales rutinas físicas de rehabilitación para pacientes con traumatismos en el hombro y dolores posoperatorios. En compañía de la fisioterapeuta Frezia Zulema Cardona Cardona se analizó y escogió una rutina adecuada para que los pacientes la realicen en casa, a parte de las rutinas obligatorias en el centro de rehabilitación.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se mostraran los resultados obtenidos en base a la metodología seguida, los resultados se muestran en 5 secciones que detallan el cumplimiento de los objetivos propuestos.

7.1 DISEÑO CAD CAM

La parte mecánica se trabajó en dos softwares, que cumplen funciones CAD CAM. Se tomaron en cuenta medidas antropométricas promedio para la población masculina adulta colombiana [33] con el fin de tomar como base el diseño virtual para la elaboración del prototipo de la órtesis semidinámica que cubra el hombro. Además, por medio del diseño se ubicó el sistema de bolsillos que alberga el dispositivo TENS y la compresa. Los compartimientos para el sistema TENS y la compresa se ubicaron estratégicamente para que sus funciones se cumplan de una manera óptima.

Debido a la bibliografía encontrada sobre medidas antropométricas y de acuerdo al diseño que se tenía pensado desarrollar (*Figura 4, 5 y 6*) se procede entonces a tomar las siguientes medidas en el sujeto de prueba (*Figura 7*).

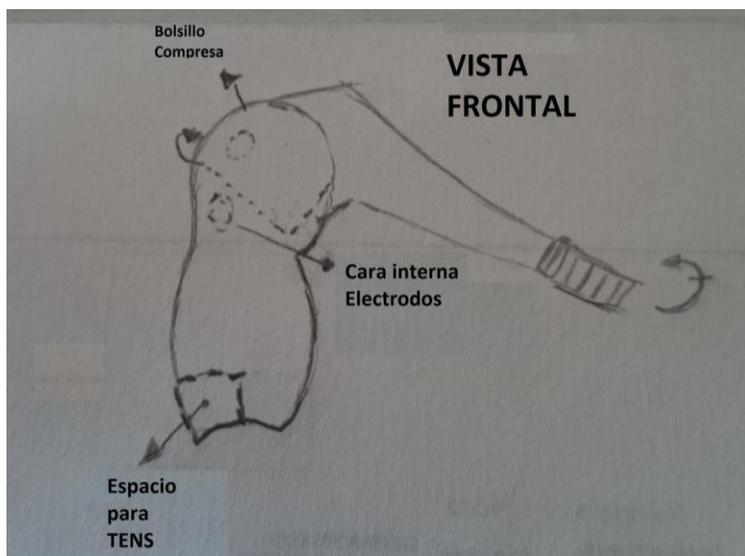


Figura 4 – [Diseño manual del prototipo – Vista Frontal]

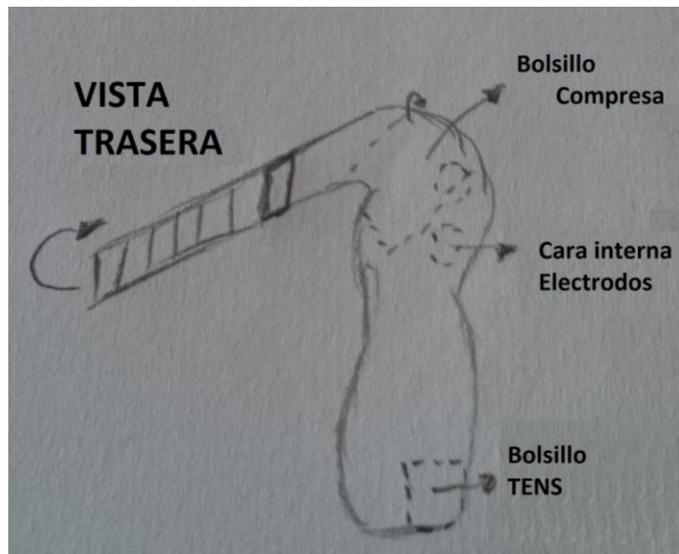


Figura 5 – [Diseño manual del prototipo – Vista Frontal]

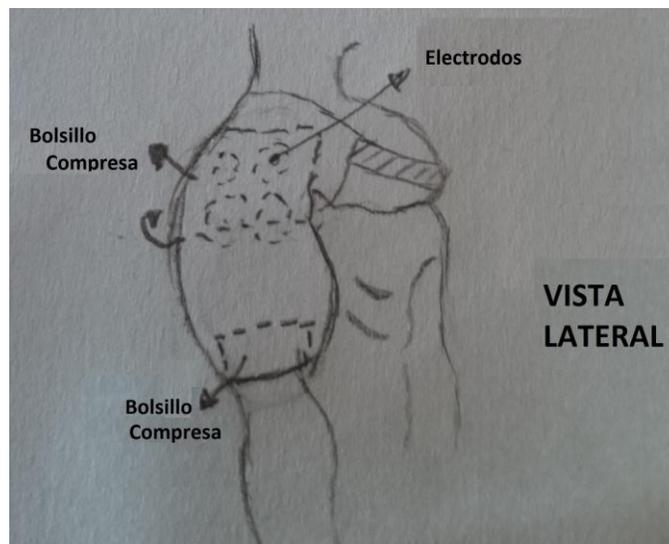


Figura 6 – [Diseño manual del prototipo – Vista Lateral]

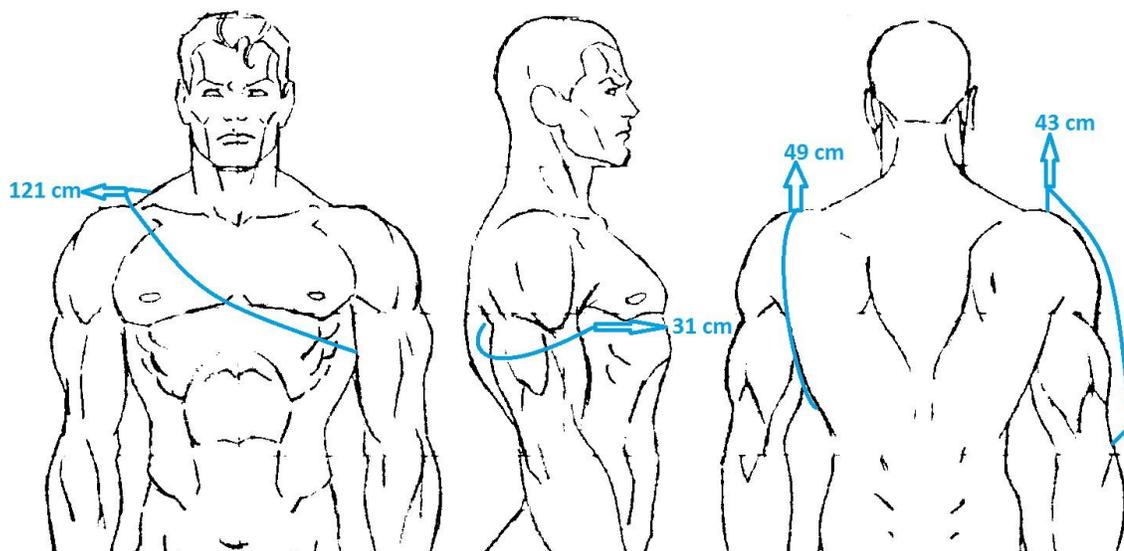


Figura 7– [Medidas antropométricas tomadas en el sujeto de prueba]

El sujeto de prueba se encuentra dentro de las medidas antropométricas normales para adultos en Colombia, como lo muestra la tabla 4.

Tabla 4– Medidas antropométricas en Colombia vs sujeto de prueba

| Medidas en adultos - Hombres | Promedio en Colombia | | Sujeto de prueba |
|-------------------------------|----------------------|--------|------------------|
| | Min | Max | |
| Circunferencia Brazo | 16 cm | 43 cm | 31 cm |
| Circunferencia pecho - hombro | 90 cm | 125 cm | 121 cm |
| Distancia hombro al codo | 40 cm | 48 cm | 43 cm |

Luego de tomar las medidas se pasa a desarrollar el diseño en CAD CAM, para el cual se trabajó en dos softwares, uno fue Cinema 4D (figura 8). No conforme con los resultados, debido a la complejidad para realizar el diseño por separado del maniquí base y por no encontrar la manera de cómo implementar las modificaciones de los compartimientos para los dispositivos de terapia, se realizó el cambio de software y se comenzó con el diseño en el software PTC CREO, que se muestra a continuación en la figura 9.



Figura 8– [Diseño en software Cinema 4D]

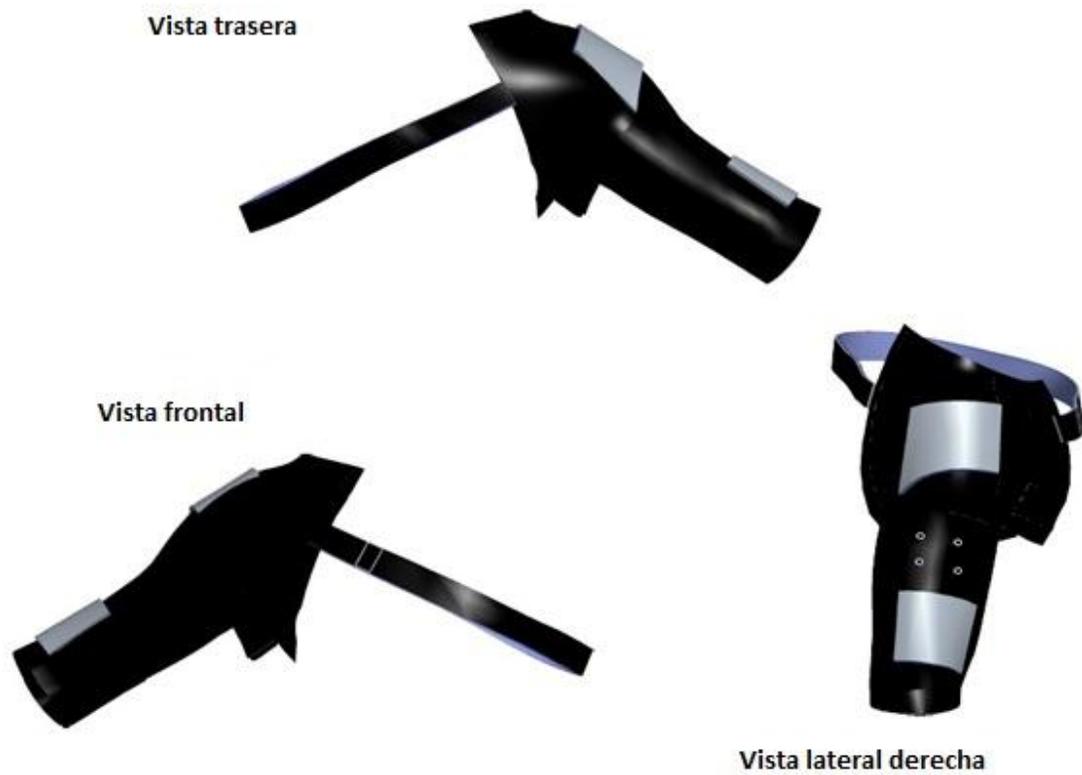


Figura 9– [Diseño en software PTC Creo]

En la *figura 9* se muestra el diseño virtual realizado para la implementación de la órtesis, consta de dos compartimientos, uno destinado para la compresa, que es el más grande , y otro destinado para albergar el TENS, que es el pequeño y ubicado en la parte de abajo de

la manga en el diseño. Además se aprecian 4 circunferencias blancas que representan los canales por los que pasan los electrodos y que permiten ubicarlos de acuerdo a las recomendaciones de la fisioterapeuta visitada [34] y de acuerdo a la bibliografía consultada (*figura 10*).[19], [35]

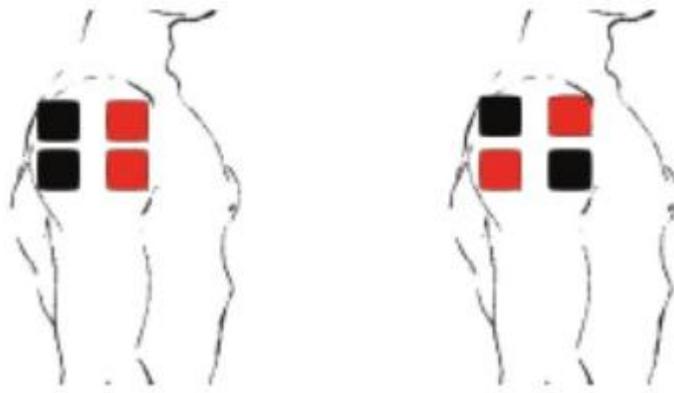


Figura 10– [Ubicaciones de los electrodos en el hombro] recuperado de:
<http://lasanateca.com/img/cms/Dossier%20Colocaci%C3%B3n%20Electrodos%20webr.pdf>

La *figura 10* muestra la posición en la que se colocaron los electrodos en el hombro, dicha ubicación garantiza la estimulación de los músculos que participan en los movimientos de flexión, extensión, abducción y rotación externa de la articulación. Los músculos estimulados directamente, en las dos formas de conexión, son el deltoides, que participa en los movimientos de extensión y abducción, el bíceps braquial que contribuye a la flexión, el tríceps braquial que contribuye a la extensión y el redondo menor que contribuye a la rotación externa, además de estimular mandando pequeños impulsos que activan de manera indirecta el resto de los músculos implicados en los movimientos de aducción y rotación interna del hombro.[35]

El modelado de la pieza en el software CREO presentó inconvenientes a la hora de modelar la parte del pecho, debido a la geometría que presenta este segmento corporal, por esto se buscó un diseño virtual del cuerpo humano que fuera compatible con el programa CREO para modelar esta parte. La parte del brazo fue modelada como un cilindro cónico, y los bolsillos como rectángulos. *Figuras 11 - 15*

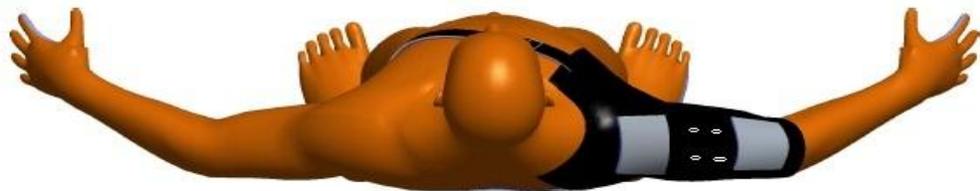


Figura 11– [Vista superior del diseño]

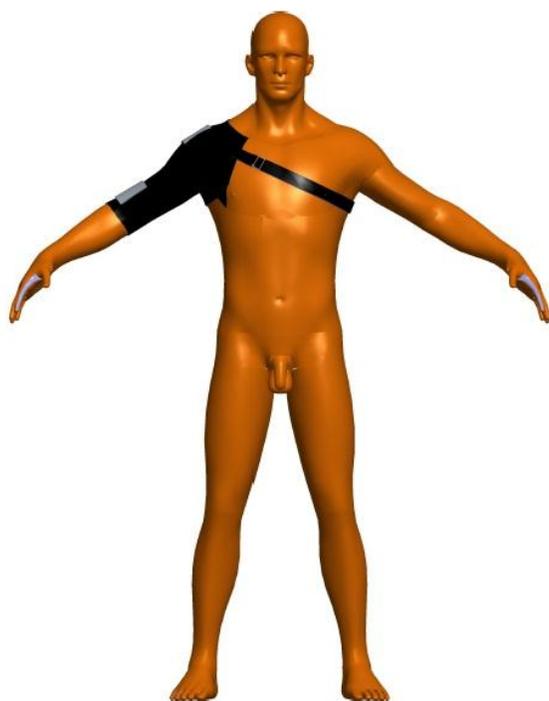


Figura 12– [Vista frontal del diseño]

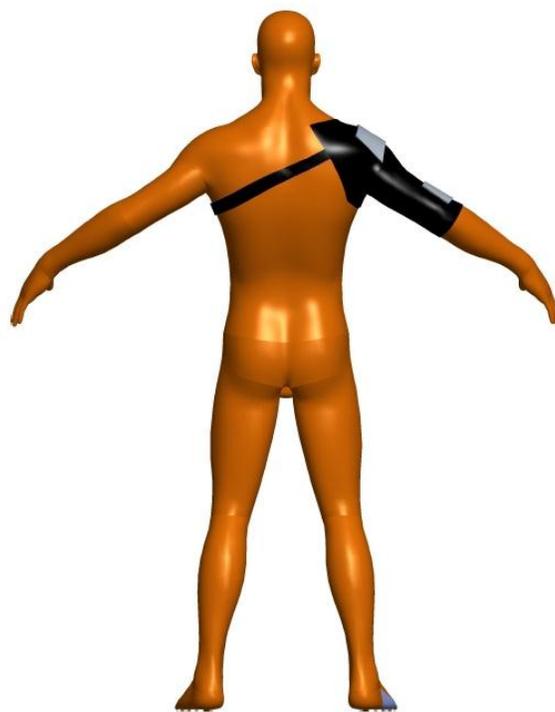


Figura 13– [Vista trasera del diseño]

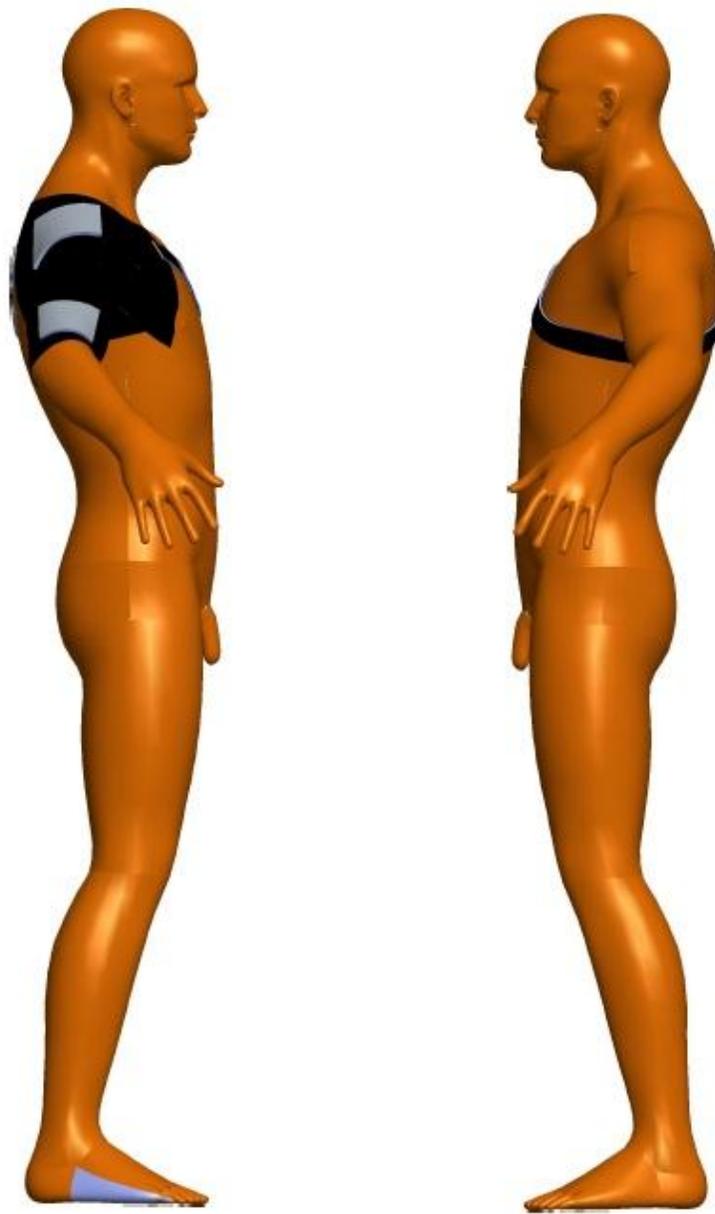


Figura 14- [Vistas laterales del diseño]

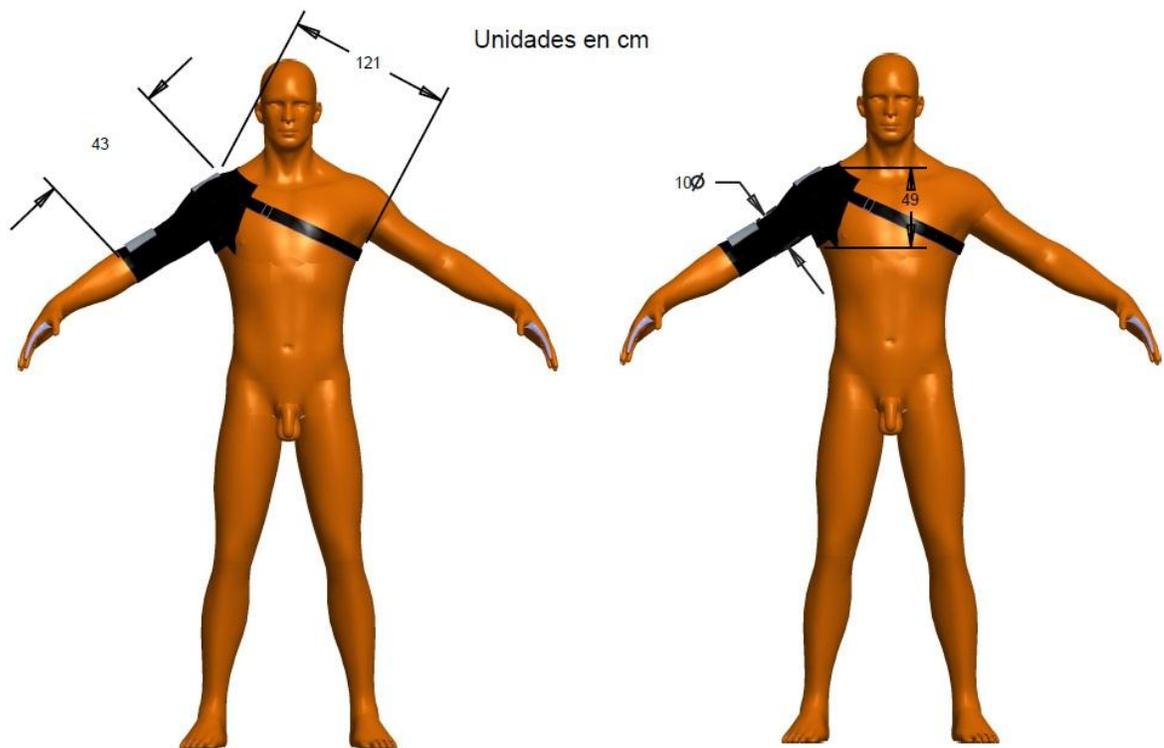


Figura 15– [Medidas del diseño]

7.2 DISPOSITIVOS SELECCIONADOS PARA EL PROTOTIPO

En el diseño mecánico se usó una compresa de gel (*figura 16*) que garantiza la terapia térmica, dicha compresa es apta para crioterapia y termoterapia. Las medidas de la compresa son de 15x23 Cm, este tamaño garantiza un cubrimiento total de la articulación del hombro para brindar una terapia de disminución de dolor por medio del calor o el frío, según sea el caso del paciente.

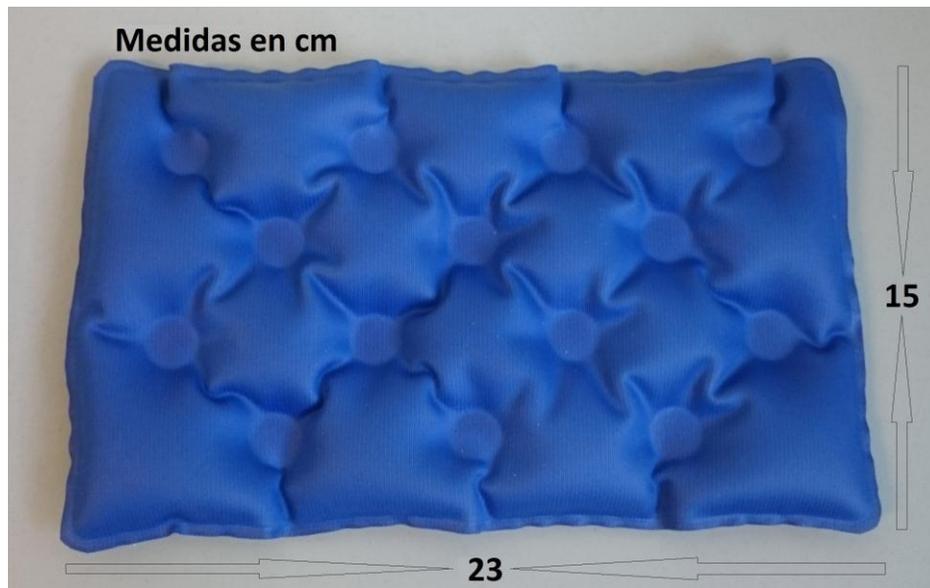


Figura 16– [Medidas de la compresa en cm]

Se realizaron mediciones de temperatura sobre la compresa, con el fin de analizar el tiempo que le toma a esta llegar a la temperatura ambiente una vez sometida a 12 horas de enfriamiento en un congelador casero a -2°C para la aplicación de crioterapia y 1:30 min en microondas para la aplicación de la termoterapia. Estas mediciones de temperatura se realizaron por medio de termocuplas de multímetro y de un termohigrómetro. Los resultados de este proceso se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 – Comportamiento de la compresa en espacio abierto

| Compresa sin órtesis | Crioterapia | Termoterapia |
|----------------------|-------------|--------------|
| T. Ambiente | 25 °C | 24 °C |
| T. Inicial Compresa | 4 °C | 44 °C |
| T. Final | 24 °C | 24 °C |
| Tiempo | 02:49:48 | 01:14:15 |

La tabla 5 muestra el comportamiento térmico de la compresa, esta compresa tanto en crioterapia como en termoterapia requieren de más de una hora para volver a temperatura ambiente y se ha evidenciado que los tratamientos con termoterapia no requieren tiempos tan prolongados para realizar tratamientos [36]. La temperatura apta para hacer tratamientos de crioterapia se contempla entre los 7.2°C y 13°C y para el caso de la termoterapia, la temperatura ideal de la compresa debe ser 48°C , el tiempo que dura el tratamiento está

determinado por el terapeuta [37], [38]. En este orden de ideas la compresa de gel es adecuada para el tratamiento tanto en crioterapia como en termoterapia.

Otro de los componentes necesarios para la mejora a la órtesis es un sistema TENS, los sistemas cotizados como TENS de uso terapéutico cumplen con los requerimientos técnicos especificados desde la propuesta, como lo son la frecuencia para la estimulación muscular y la frecuencia para la reducción del dolor. El dispositivo utilizado para el desarrollo del proyecto contiene estas dos frecuencias pero de manera predeterminada, es decir, el sistema no permite la variación de estas frecuencias sino que ya se encuentran fijas, pero permite manejar la intensidad del pulso. (*figura17*); otras ventajas que posee el dispositivo son los tratamientos que van desde estimulaciones eléctricas para reducción de peso hasta masajes para relajación corporal. Se evidenció que dentro de estos tratamientos se encuentran frecuencias aptas para la disminución del dolor y para la activación muscular.



Figura 17– [Sistema TENS de gimnasia pasiva]

El sistema TENS que se usó en el diseño de la órtesis posee 15 niveles de intensidad y un cronometro que permite condicionar el tratamiento hasta un máximo de 15 minutos con aumentos de 5 minutos, además posee 8 tipos de tratamientos que son:

- Acupuntura
- Manipulación
- Golpe o toque
- Raspado
- Masaje
- Reducción de peso
- Ahuecamiento
- Inmunoterapia

De estos tipos de terapia se realizaron pruebas con los modos de trabajo “acupuntura” y “golpe”, los cuales hacen las veces de terapia eléctrica para disminución de dolor y activación muscular respectivamente.

Se tomaron medidas con el TENS en funcionamiento separado de la órtesis, por medio de un multímetro (*figura 18*), en materia de corriente y voltaje. Se obtuvieron los resultados de las tablas 6,7 y 8 respectivamente.

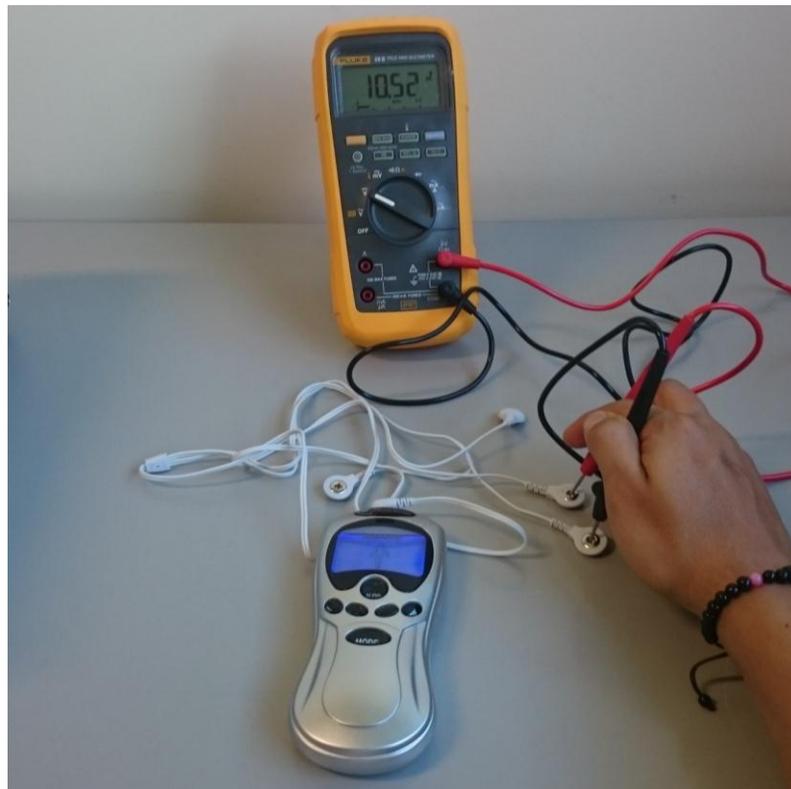


Figura 18 – [Equipo TENS conectado a Multímetro]

Tabla 6 – Medidas de corriente expresadas en Amperios emitida por el equipo TENS en el tratamiento acupuntura

| Nivel de intensidad | Modo de trabajo: Acupuntura | | |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Amperaje frecuencia 1 | Amperaje frecuencia 2 | Amperaje frecuencia 3 |
| 1 | 0,262 A | 0,694 A | 0,540 A |
| 2 | 0,270 A | 0,729 A | 0,574 A |
| 3 | 0,278 A | 0,745 A | 0,585 A |
| 4 | 0,280 A | 0,752 A | 0,603 A |
| 5 | 0,290 A | 0,760 A | 0,614 A |
| 6 | 0,296 A | 0,778 A | 0,622 A |
| 7 | 0,298 A | 0,780 A | 0,628 A |
| 8 | 0,302 A | 0,788 A | 0,632 A |

Tabla 7 – Medidas de corriente expresadas en Amperios emitida por el equipo TENS en el tratamiento golpe

| Nivel de intensidad | Modo de trabajo: Golpe | | |
|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Amperaje frecuencia 1 | Amperaje frecuencia 2 | Amperaje frecuencia 3 |
| 1 | 0,618 A | 0,252 A | - |
| 2 | 0,627 A | 0,260 A | - |
| 3 | 0,634 A | 0,265 A | - |
| 4 | 0,642 A | 0,268 A | - |
| 5 | 0,655 A | 0,270 A | - |
| 6 | 0,660 A | 0,292 A | - |
| 7 | 0,690 A | 0,310 A | - |
| 8 | 0,698 A | 0,326 A | - |

Tabla 8– Medidas de voltaje expresadas en voltios emitida por el equipo TENS

| Nivel de intensidad | Acupuntura | | Golpe | |
|---------------------|------------|-----------|-----------|----------|
| | 1 | 1,28 Vmin | 4,4 Vmax | 6,3 Vmin |
| 8 | 10,52 Vmin | 16,8 Vmax | 18,4 Vmin | 20 Vmax |

La corriente que emite el dispositivo no representa ningún problema para la salud del ser humano, ya que a partir de aproximadamente $0.5A/cm^2$ y por periodos mayores de 10s se puede empezar a presenciar daños en la piel tales como cambio de coloración y textura; y en caso tal de verse expuesto a corrientes muy altas, se necesitarían cerca de $4A/cm^2$ o más,

por el mismo periodo de tiempo, para producir carbonización de la piel [39] esto hablando de consecuencias cutáneas, pero si se analiza el riesgo en cuanto a daño fisiológico tenemos que, se necesitan 0.5mA o más para superar el umbral de la percepción de la corriente y a partir de 0.2mA por periodos mayores a 2s se empiezan a percibir cambios fisiológicos y llegado el caso de estar en contacto con 2A de corriente se tiene cerca de más de 50% de probabilidad de sufrir una fibrilación que nos ocasionaría la muerte [39]. Los datos tomados de las pruebas arrojan que la corriente máxima que emitió el equipo fue de 0.8A en 35cm² que tiene por área el electrodo usado, y para presentar daños en la piel se necesitan 17.5A en 35cm² como mínimo; y en materia de daños fisiológicos no se presentan problemas ya que el equipo entrega una medida máxima de 0.8A por periodos máximos de 270 μ s, dichos impulsos son de un tiempo demasiado pequeño y no representan problemas para el cuerpo humano.

El equipo que se utilizó para realizar la estimulación eléctrica viene con frecuencias predeterminadas y solo nos brinda la posibilidad de emitir cambios en cuanto a la corriente del pulso, es decir, solo se puede modificar la intensidad de los impulsos que emite, a diferencia de un equipo TENS convencional que nos permite modificar tanto la frecuencia a la que se emite el pulso como la intensidad de los mismos. Las frecuencias que emite el dispositivo se pudieron visualizar por medio de un osciloscopio (*figura 19*), con el fin de analizar las frecuencias de los métodos de trabajo seleccionados (*figuras 20 a 27*).



Figura 19 – [Equipo TENS conectado a Osciloscopio]

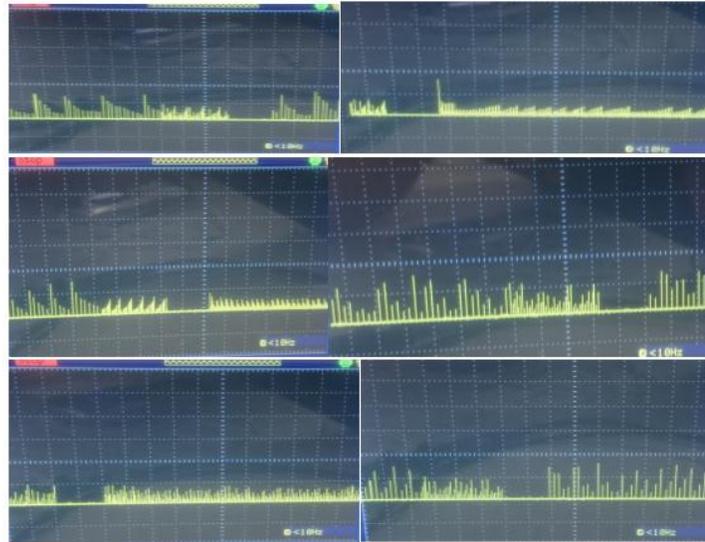


Figura 20 – [Cambios de frecuencia en modo de trabajo Acupuntura tomados en Osciloscopio]

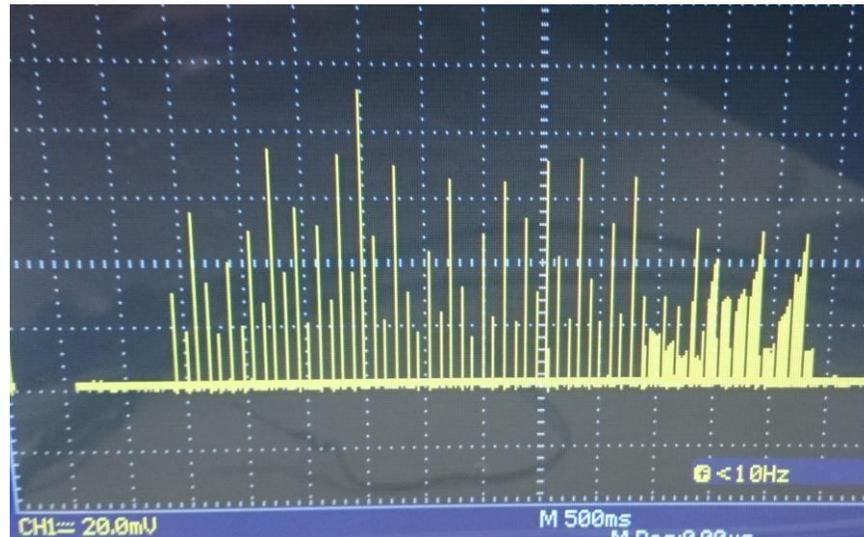


Figura 21 – [Frecuencia predeterminada 1 en modo de trabajo Acupuntura tomada en Osciloscopio]

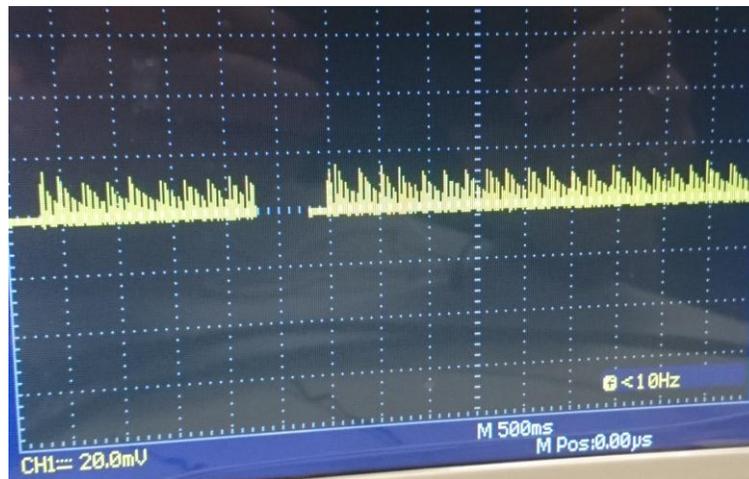


Figura 22 – [Frecuencia predeterminada 2 en modo de trabajo Acupuntura tomada en Osciloscopio]

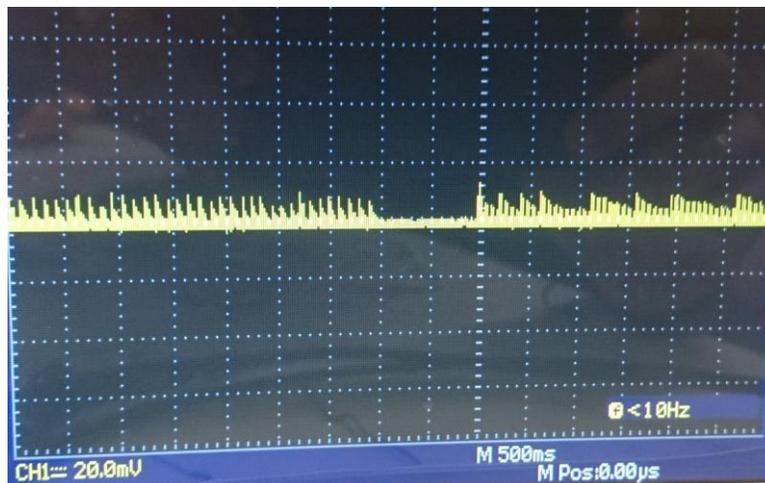


Figura 23 – [Frecuencia predeterminada 3 en modo de trabajo Acupuntura tomada en Osciloscopio]

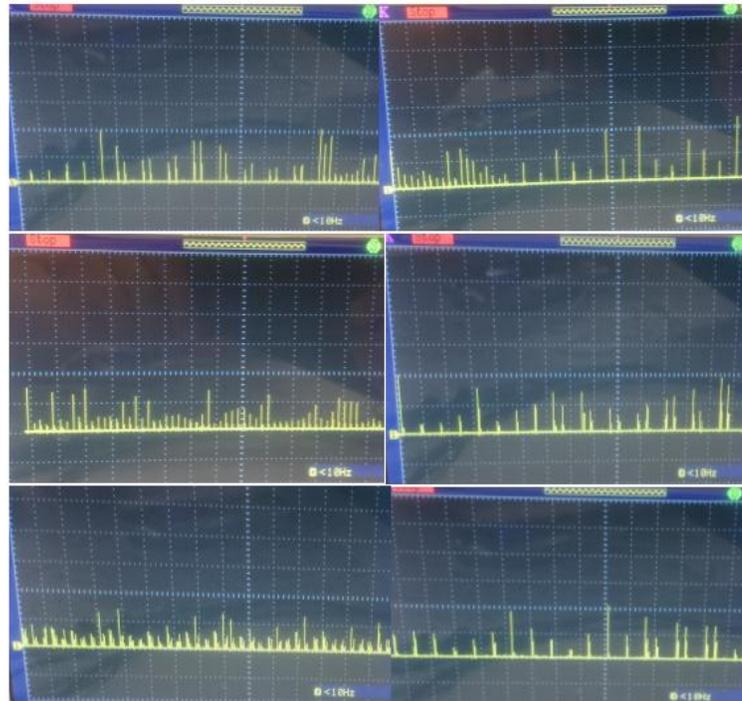


Figura 24 – [Cambios de frecuencia en modo de trabajo Golpe tomados en Osciloscopio]

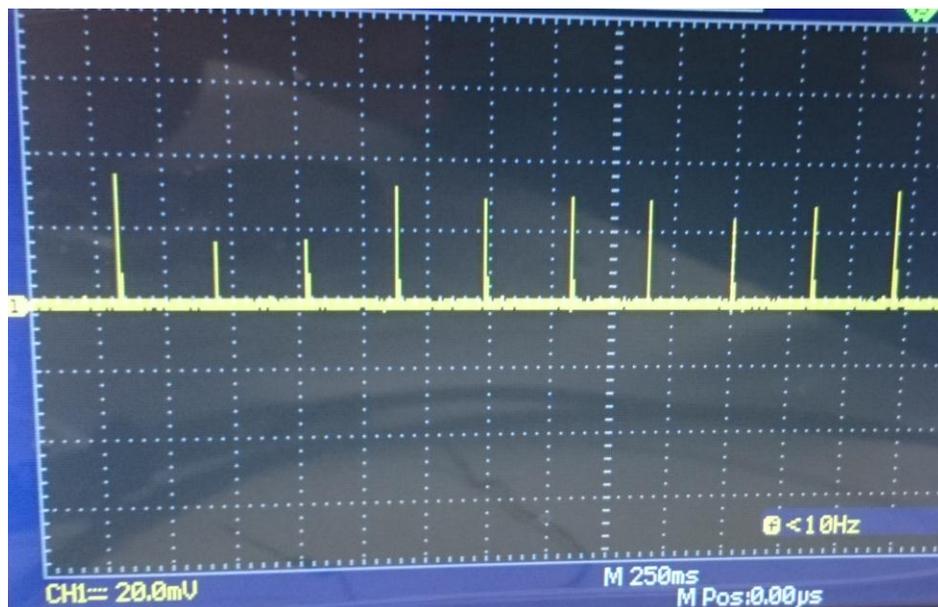


Figura 25 – [Frecuencia predeterminada 1 en modo de trabajo Golpe tomada en Osciloscopio]



Figura 26 – [Frecuencia predeterminada 2 en modo de trabajo Golpe tomada en Osciloscopio]



Figura 27 – [Frecuencia predeterminada 3 en modo de trabajo Golpe tomada en Osciloscopio]

En las figuras 21 a 27 se muestran las frecuencias predeterminadas que tiene el equipo, se evidencia que cada tipo de tratamiento tiene 3 tipos de frecuencia de impulso predeterminadas de fábrica con diferentes niveles de intensidad. Para el tipo de tratamiento acupuntura se presentan frecuencias similares a los TENS de tipo tradicional, los cuales presentan una frecuencia de 65 a 110 Hz con duraciones del estímulo de 60us a 150us tratamiento ideal para tratar el dolor [40], el dispositivo emite 3 tipos de estímulo con

frecuencias variables y en forma de trenes de onda, estímulos ideales para producir una disminución del dolor; por otro lado, el tipo de tratamiento de golpe tiene ondas similares a los tratamientos de TENS para potencia, los cuales se caracterizan por emitir pulsos de frecuencia baja pero con intensidades altas, su frecuencia puede ser de 30 a 60 Hz y la duración del estímulo dura entre 200 y 300 us ideales para la activación del tono y la contracción muscular [40], [41], para este tratamiento el dispositivo usado en las pruebas emite tres tipos de estímulos con frecuencias diferentes en los cuales se emiten pulsos que se asemejan a las contracciones musculares y se presenta una fase de estimulación continua de frecuencia baja.

7.3 PROTOTIPO DE ÓRTESIS SEMIDINÁMICA

Para el diseño del prototipo de órtesis se utilizó neopreno como material principal debido a sus propiedades: inercia al contacto con la piel, la impermeabilidad, el aislamiento eléctrico, y la elasticidad que presenta la cual permite ajustar su forma al área de trabajo deseado en este caso, el brazo. (*figura 28*) [42], [43]. Los bolsillos o compartimentos que presenta el diseño virtual de la órtesis fueron elaborados del mismo material que está elaborada la órtesis de acuerdo a las medidas de la compresa y el equipo TENS, adicional a esto se utilizó una correa de tela rígida que permite ajustar la órtesis para tener un mejor acople del cuerpo a la órtesis. Dentro de este diseño se utilizó un sistema de orificios de paso para los cables del equipo TENS, los cuales permiten ubicar libremente los electrodos en los músculos del hombro y así se realiza un tratamiento completo, en cuanto a electroestimulación, que no esté ligado a un punto específico para conectar el TENS, si no que permita una conexión diferente según el tratamiento que se está llevando a cabo. [1], [7], [12]



Figura 28 - [Vistas de la órtesis]

7.4 FUNCIONAMIENTO INTEGRADO DEL PROTOTIPO

Durante los estudios realizados al prototipo mecánico con los sistemas integrados (*figura 21*), las medidas de voltaje y corriente no pudieron ser tomadas con el multímetro debido a la diferencia de impedancia con el cuerpo, ya que al conectar el circuito al multímetro en paralelo o en serie para realizar la medición de corriente y voltaje entregada por el equipo, el circuito se cierra entre el multímetro y el TENS, haciendo que toda la corriente se disperse sobre el multímetro afectando la medida real de las variables (*figura 22*). Sin embargo las pruebas realizadas sobre el prototipo mecánico con el osciloscopio permiten evidenciar que el funcionamiento del TENS no se ve afectado al momento de usarlo durante la terapia térmica (*figuras 29 y 30*).



Figura 29- [Vistas del prototipo de la órtesis con sistemas integrados]

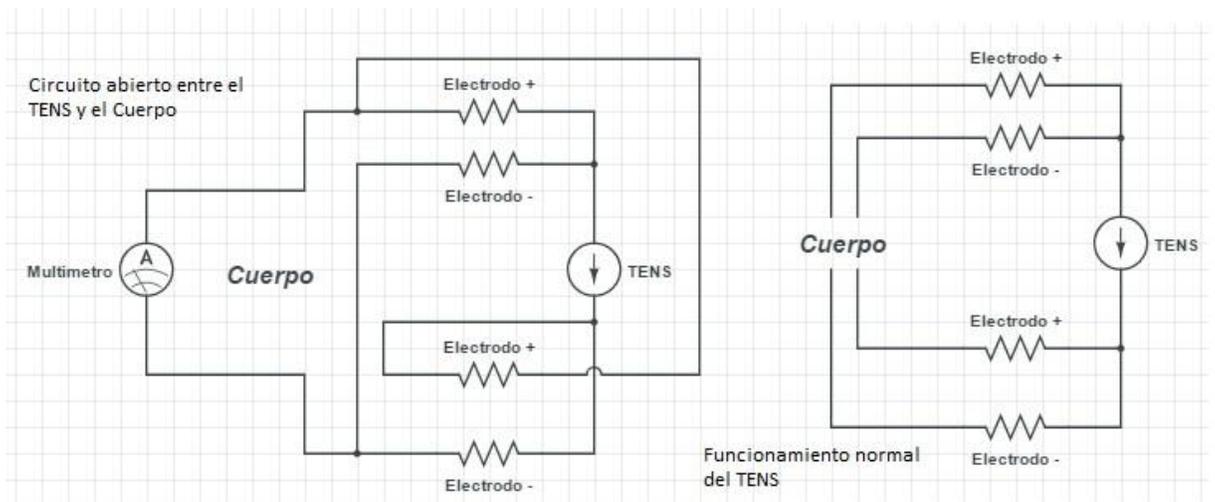


Figura 30 – [comportamiento del TENS al tomar los valores con un multímetro]

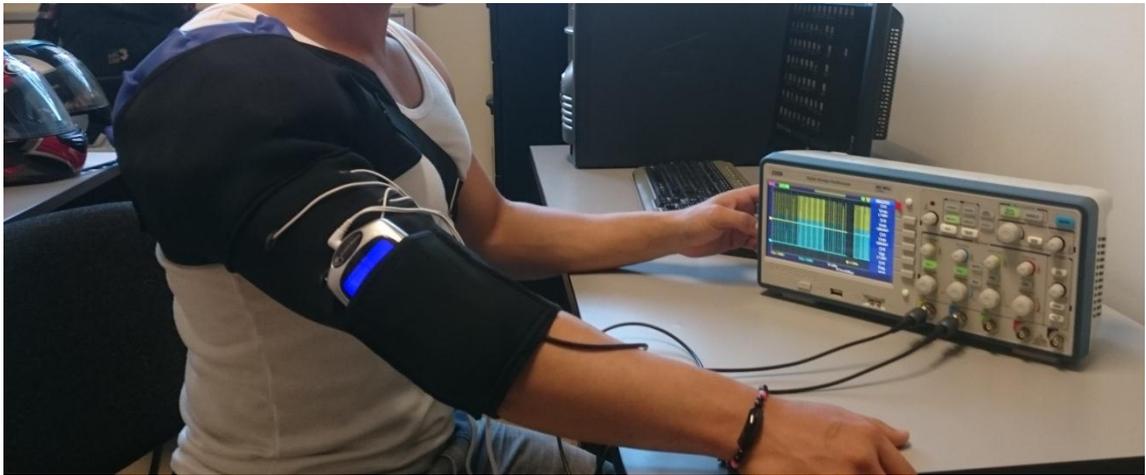


Figura 31 – [Pruebas de funcionalidad del prototipo final de la órtesis en osciloscopio]

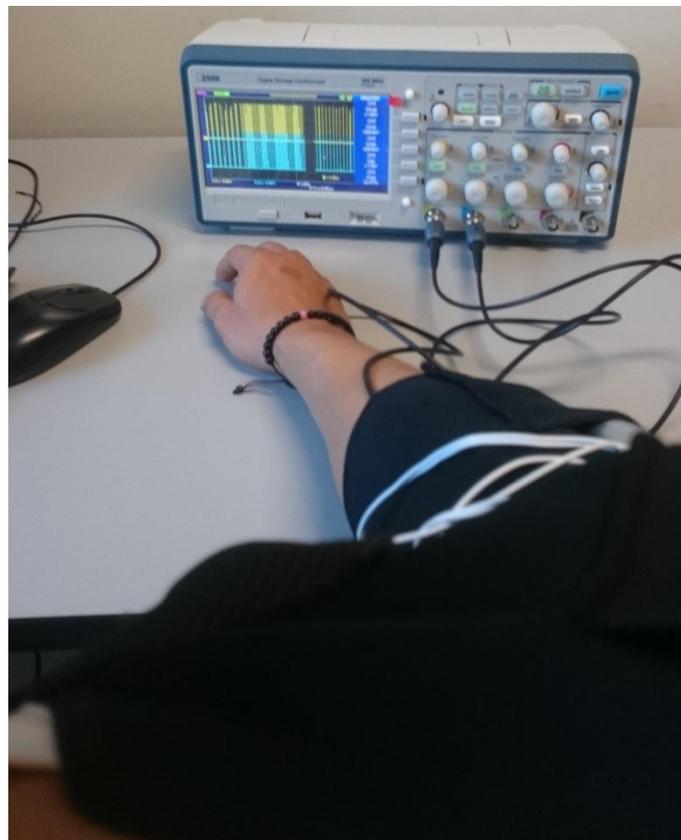


Figura 32 – [Cambios de frecuencia tomados del Osciloscopio]

Las pruebas del prototipo con los sistemas integrados (*figuras 31 y 32*) evidenciaron que el uso de la compresa no afecta el funcionamiento del sistema TENS mientras ambos métodos de rehabilitación se encuentran activos. La tela utilizada para el prototipo tiene propiedades de impermeabilidad, lo que evita que pasen líquidos del compartimiento de la compresa hacia la parte eléctrica. Por otro lado los efectos producidos por las temperaturas de la compresa en el cuerpo no afectan el funcionamiento del sistema TENS, aunque no se evidencien los valores en el multímetro, las pruebas con el osciloscopio arrojan resultados de igual cambio en las frecuencias y las intensidades de la corriente continúan siendo las mismas que cuando se usa el TENS sin la órtesis.

7.5 ESQUEMA DE ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN

La propuesta de un esquema de actividades de rehabilitación es fundamental dentro del proceso. Para esto se realizó una búsqueda bibliográfica sobre las principales rutinas físicas de rehabilitación para pacientes con traumatismos en el hombro y dolores post operatorios, y se estableció una rutina de ejercicios que pueden realizar los pacientes en casa usando el prototipo, a parte de las rutinas obligatorias en el centro de rehabilitación. Como propuesta de ejercicios de rehabilitación, se plantean una serie de ejercicios físicos sin peso llamados ejercicios de Codman (*figura 33*).[19]

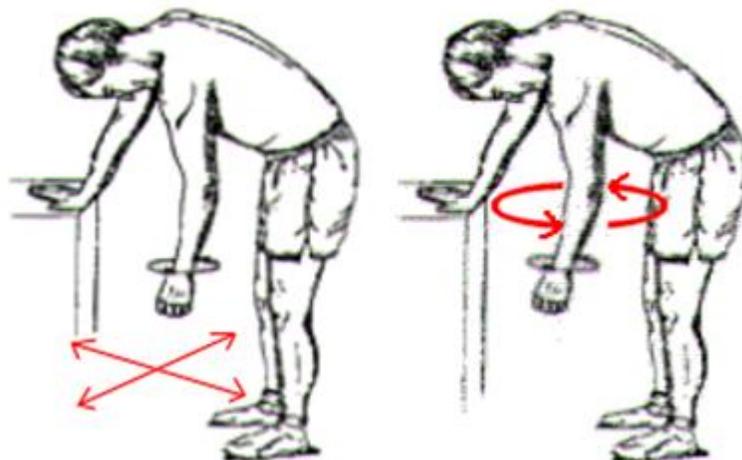


Figura 33 – [Ejercicios de Codman] Recuperado de: http://www.tlahui.com/medic/medic33/acu_dolor.htm

La rutina consiste en realizar series diarias de 30 repeticiones de movimientos circulares y movimientos hacia dentro y fuera del ángulo en el que se posicione la persona, se recomienda apoyarse en una superficie como una silla o mesa para garantizar estabilidad.



Los movimientos permiten trabajar el rango articular hasta donde sea permitido el movimiento, si el paciente percibe dolor durante los ejercicios, es indispensable que suspenda inmediatamente las actividades [19], esta rutina se estudió en compañía de Frezia Zulema Cardona Cardona, fisioterapeuta graduada de la universidad Maria Cano en el año 2001, quien indicó que este tipo de ejercicios al ser realizados sin peso conllevan a una disminución significativa del riesgo de lesión. Además, indicó también que son ejercicios fáciles de realizar y que le permiten a los pacientes de lesiones de hombro de tipo traumáticas o con dolores postoperatorios mantener una movilidad activa e ir mejorando el arco de movimiento a medida que se ejecutan las rutinas. [34]

8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El prototipo diseñado permite al paciente, tener acceso a tres métodos de tratamiento para lesiones de hombro, ya que el prototipo consta de una órtesis semidinámica mejorada, hecha en neopreno, que brinda estabilidad a la articulación, un compartimiento para compresas de gel que permite llevar a cabo terapia térmica, ya sea crioterapia o termoterapia y un compartimiento para un dispositivo TENS que permite realizar terapia eléctrica mientras el paciente lleve puesta la órtesis. Además el diseño consta de 4 canales para electrodos que permite ubicarlos en diversas posiciones dentro del hombro, lo que facilita enfocar el tratamiento a músculos objetivos o a la articulación en general.

El diseño virtual de la órtesis se realizó con el software PTC Creo, el diseño mecánico se tomó en base al diseño virtual y con las medidas antropométricas para la población masculina de Colombia. En vista de que la órtesis es semidinámica y no rígida, las propiedades de CAM no se usaron en el proyecto, ya que normalmente, la manufactura asistida por computadora se usa para elementos rígidos de metal o plástico. Se utilizaron figuras geométricas en el software para realizar el diseño virtual, la manga de la órtesis por ejemplo, se diseñó en base a un cilindro cónico, pero la parte de la órtesis que cubre el pecho no tiene una forma geométrica definida, por lo que fue muy complicado el diseño y se vio la necesidad de utilizar un maniquí como guía para obtener un diseño acorde a la anatomía del cuerpo humano.

El uso de compresas de gel resulta efectivo a la hora de implementar un método de terapia térmica, ya que dicho dispositivo provee temperaturas aptas para el tratamiento del dolor, tanto en crioterapia como en termoterapia, además, el tiempo que la compresa mantiene el frío o el calor sobrepasa los tiempos recomendados en las fisioterapias. Se recomienda que la medida de la compresa sea de 15x23 cm para garantizar el cubrimiento total de la articulación. El dispositivo TENS que se utilizó fue de bajo costo y su adquisición en el mercado garantizó realizar las pruebas de manera segura, sin riesgo eléctrico alguno. El dispositivo cumplió con las medidas mínimas que se necesitan para la evaluación del funcionamiento del diseño mecánico. La órtesis fue hecha de neopreno debido a sus propiedades de inercia al contacto con la piel, su impermeabilidad y su elasticidad.

Las pruebas realizadas en los laboratorios permitieron evidenciar que el diseño semidinámico de la órtesis le brinda al paciente estabilidad en la articulación. Además, el neopreno utilizado en la órtesis permite la conducción térmica de la compresa hacia la piel, de esta manera se puede realizar un tratamiento de disminución de dolor en el paciente, además las reacciones del cuerpo al estímulo térmico no afectan el funcionamiento del TENS en el prototipo, permitiendo así realizar terapias térmicas y de electroestimulación al mismo tiempo sin afectar el funcionamiento del área eléctrica del diseño ni poner en riesgo al paciente. El neopreno utilizado en el prototipo permite que la órtesis sea utilizada por una muestra de pacientes con medidas del brazo similares, debido a que el material es un poco elástico y de esta manera se ajusta al cuerpo de quien esté usando el prototipo.

Los ejercicios de Codman propuestos para el esquema son ejercicios que se realizan con el peso del propio brazo, por lo tanto puede concluirse que los riesgos de luxación sobre la articulación ya dañada pueden ser bajos ya que no habrá sobre esfuerzo en la articulación, al igual que pueden sugerirse rutinas que no involucren peso ni esfuerzo pero que mantengan activa la articulación y que permitan al paciente mejorar su rango de movimiento, sin embargo es indispensable que el fisioterapeuta encargado evalúe la viabilidad de dicho esquema para cada paciente.

Como consideraciones para un trabajo futuro se propone utilizar un dispositivo TENS de uso específico para terapia de pacientes, ya que el dispositivo usado en las pruebas, aunque cumple con las frecuencias de estimulación del músculo y reducción de dolor, tiene funciones más estéticas que de terapia para rehabilitación, el TENS de tipo terapéutico se recomienda con el fin de garantizar un tratamiento adecuado en pacientes con problemas de hombro. Se propone también realizar un diseño para pacientes de género femenino, debido a que las medidas fueron tomadas sobre un hombre, por tal caso la órtesis pierde funcionalidad a la hora de ser probada por una mujer, puesto que las medidas son grandes para una persona de género femenino y esto conlleva a la pérdida de la estabilidad que debe brindar la órtesis en el proceso de rehabilitación.

9. PRODUCTOS

El trabajo de grado dio lugar a un prototipo de órtesis mejorada para el tratamiento de pacientes de género masculino que estén en un proceso de rehabilitación por trauma en el hombro o que estén en una fase postoperatoria de la articulación.

REFERENCIAS

- [1] W. Ben Kibler, J. McMullen, and T. Uhl, “Shoulder Rehabilitation Strategies, Guidelines, and Practice,” *Oper. Tech. Sports Med.*, vol. 20, no. 1, pp. 103–112, Mar. 2012.
- [2] Kromia, “Órtesis de Soporte de Hombro,” 2015.
- [3] Kromia, “Compresas para terapia,” 2015. [Online]. Available: <http://www.tecnomed.com.co/compresas-para-terapia-frio-calor-espalda-hombro.html>.
- [4] K. Helgeson and P. Stoneman, “Shoulder injuries in rugby players: mechanisms, examination, and rehabilitation.,” *Phys. Ther. Sport*, vol. 15, no. 4, pp. 218–27, Nov. 2014.
- [5] L. C. Macrina and C. Arrigo, *Physical Rehabilitation of the Injured Athlete*. Elsevier, 2012.
- [6] J. S. Langer, S. S. Sueoka, and A. A. Wang, “The importance of shoulder external rotation in activities of daily living: improving outcomes in traumatic brachial plexus palsy.,” *J. Hand Surg. Am.*, vol. 37, no. 7, pp. 1430–6, Jul. 2012.
- [7] T. Spigelman and T. Uhl, “Shoulder Rehabilitation,” in *Clinical Sports Medicine*, 2006, pp. 317–322.
- [8] S. Thiemjarus, S. Marukatat, and P. Poomchoompol, “A method for shoulder range-of-motion estimation using a single wireless sensor node,” in *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, 2013, pp. 5907–5910.
- [9] F. Alberdi Odriozola, M. Iriarte Ibararán, Á. Mendía Gorostidi, A. Murgialdai, and P. Marco Garde, “Pronóstico de las secuelas tras la lesión cerebral,” *Med. Intensiva*, vol. 33, no. 4, pp. 171–181, May 2009.
- [10] BioLaster, “Plazos de Recuperacion tras Cirugia de Hombro,” 2010. [Online]. Available: http://www.biolaster.com/traumatologia/consultas/plazos_recuperacion_hombro.

- [11] OrthoInfo, “Dolor de hombro y problemas comunes del hombro,” 2013. [Online]. Available: <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=A00704>.
- [12] I. F. Reumatología, “Hombro Doloroso,” 2013. [Online]. Available: http://www.institutferran.org/hombro_doloroso.htm.
- [13] M. sclerosis international Federation, “Rehabilitation,” *MS in focus*, pp. 1–28, 2006.
- [14] Ortopedia, “Órtesis,” 2005. [Online]. Available: <http://ortopedia1.com/órtesis>.
- [15] Terapia-Física, “Crioterapia.” [Online]. Available: <http://www.terapia-fisica.com/crioterapia.html>.
- [16] Terapia-Física, “Termoterapia.” [Online]. Available: <http://www.terapia-fisica.com/termoterapia.html>.
- [17] F. Crépon, J.-F. Doubrère, M. Vanderthommen, E. Castel-Kremer, and G. Cadet, “Electroterapia. Electroestimulación,” *EMC - Kinesiterapia - Med. Física*, vol. 29, no. 1, pp. 1–20, Jan. 2008.
- [18] M. Linares, K. Escalante, and R. La Touche, “Revisión bibliográfica de las corrientes y parámetros más efectivos en la electroestimulación del cuádriceps,” *Fisioterapia*, vol. 26, no. 4, pp. 235–244, Jan. 2004.
- [19] N. Suarez Sanabria and A. M. O. Patiño, “Biomecánica del hombro y bases fisiológicas de los ejercicios de Codman,” *Revista CES MEDICINA Volumen 27 No. 2*, 2013. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/cesm/v27n2/v27n2a08.pdf>. [Accessed: 03-Sep-2015].
- [20] Zeid, *Cad/Cam Theory & Practice 2E*. Tata McGraw-Hill Education, 2010.
- [21] J. A. O. Ciro and Otros, “Lesiones deportivas,” *Rehabilitación*, 2007. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/iat/v20n2/v20n2a6>. [Accessed: 15-Sep-2015].
- [22] X. Díaz Martínez, M. A. Mardones Hernández, C. Mena Bastias, A. Rebolledo Carreño, and M. Castillo Retamal, “Pausa activa como factor de cambio en actividad física en funcionarios públicos,” *Rev. Cuba. Salud Pública*, vol. 37, no. 3, pp. 303–313, 2011.

- [23] J. A. Castillo M. and B. A. Ramírez C., “The Multifactorial Analysis of Static and Repetitive Work. Study of the Work in Services Activities,” *Rev. Ciencias la Salud*, vol. 7, no. 1, pp. 65–82, 2009.
- [24] Ministerio de trabajo Colombiano, “Decreto 1477 del 5 de agosto de 2014,” *Normatividad y leyes*, 2014. [Online]. Available: <http://www.mintrabajo.gov.co/normatividad-agosto-decretos-2014/3708-decreto-1477-del-5-de-agosto-de-2014.html>. [Accessed: 15-Sep-2015].
- [25] A. I. Muñoz Sánchez and E. Castro Silva, “Promoción de la salud en los lugares de trabajo: entre ideal e irreal,” *Med. Secur. Trab. (Madr.)*, vol. 56, no. 221, pp. 288–305, 2010.
- [26] E. C. Balletbó, “Estudio de las luxaciones de hombro. Protocolos y valoración de la contingencia,” *Medicina Evaluadora*, 2008. [Online]. Available: [http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/13318/1/LUXACIONES DE HOMBRO.D.CONTINGENCIA.MME.word.pdf](http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/13318/1/LUXACIONES%20DE%20HOMBRO.D.CONTINGENCIA.MME.word.pdf). [Accessed: 15-Sep-2015].
- [27] C. Arce, “Ortesis de miembros superiores,” 2005. [Online]. Available: http://www.arcesw.com/o_m_s.pdf. [Accessed: 15-Sep-2015].
- [28] A. Quesnot and J. C. Chanussot, *Rehabilitacion Del Miembro Superior*. Ed. Médica Panamericana, 2010.
- [29] S. Hussain, S. Q. Xie, and P. K. Jamwal, “Control of a robotic orthosis for gait rehabilitation,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 61, no. 9, pp. 911–919, Sep. 2013.
- [30] M. A. Bani, M. Arazpour, and S. Curran, “Design and construction of custom-made neoprene thumb carpo-metacarpal orthosis with thermoplastic stabilization for first carpo-metacarpal joint osteoarthritis,” *J. Hand Ther.*, vol. 26, no. 3, pp. 279–81, Jan. 2013.
- [31] W. Hassani, S. Mohammed, H. Rifaï, and Y. Amirat, “Powered orthosis for lower limb movements assistance and rehabilitation,” *Control Eng. Pract.*, vol. 26, pp. 245–253, May 2014.
- [32] Kromia, “Equipos Kromia - Cuello-hombro-codo,” 2015. [Online]. Available: <http://www.tecnomed.com.co/cuello-hombro-codo.html>. [Accessed: 24-Sep-2015].
- [33] F. Becerra, M. Vargas, and E. Prieto, “Evaluación Antropométrica de Estudiantes Universitarios en Bogotá, Colombia,” *Revista Salud Pública*, 2008. [Online].

Available: <http://www.scielosp.org/pdf/rsap/v10n3/v10n3a08.pdf>. [Accessed: 03-Oct-2015].

- [34] F. Cardona, “Esquemas de rehabilitacion,” 2015.
- [35] J. E. Hsu, “Chapter 8 – Shoulder and Elbow,” in *Orthopedic Secrets*, 2015, pp. 244–280.
- [36] F. J. Pavez Ulloa, “Agentes físicos superficiales y dolor: Análisis de su eficacia a la luz de la evidencia científica,” *Rev. la Soc. Española del Dolor*, vol. 16, no. 3, pp. 182–189, 2009.
- [37] H. Singh, D. C. Osbahr, T. F. Holovac, P. W. Cawley, and K. P. Speer, “The efficacy of continuous cryotherapy on the postoperative shoulder: A prospective, randomized investigation,” *J. Shoulder Elb. Surg.*, vol. 10, no. 6, pp. 522–525, Nov. 2001.
- [38] Infomed, “Termoterapia Modalidades,” *Red de salud de Cuba*, 2014. [Online]. Available: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion/termoterapia_modalidades.pdf. [Accessed: 03-Oct-2015].
- [39] D. Miranda, “Riesgos Eléctricos,” 2012. [Online]. Available: <http://www.cleaedu.com/pdf/diplomados/aulas/salud/mdt/principal/010-3-riesgos-electricos.pdf>. [Accessed: 03-Oct-2015].
- [40] J. Peacock, “TENS and acupuncture therapy for soft tissue pain,” *Anaesth. Intensive Care Med.*, vol. 14, no. 11, pp. 502–504, Nov. 2013.
- [41] S. Cenetec, “Guia TENS,” 2001. [Online]. Available: http://www.cenetec.salud.gob.mxdescargasequipo_guiasguias_tec22gt_tens.pdf.
- [42] K. B. dos Santos, P. C. B. Bento, and A. L. F. Rodacki, “Effects of a neoprene suit over technical, physiological and perceptive variables of swimmers,” *Rev. Bras. Educ. Física e Esporte*, vol. 25, no. 2, pp. 189–195, 2011.
- [43] P. Uribe Llopis, P. Barbero Del Palacio, M. T. Alonso Cobo, I. Bardón Fernández-Pacheco, and M. C. Caso Pita, “Hacia un hospital sin látex,” *Med. Secur. Trab. (Madr)*, vol. 54, no. 212, pp. 99–108, 2008.