



**TECNOLOGICO
DE MONTERREY®**

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Ciudad de México

División de Ciencias de la Salud
Departamento de Ingeniería Biomédica

Diseño Integral de una Ortesis para el Tratamiento del Síndrome del Túnel del Carpo

Autores

Kenia Fabiola Sáenz Trigueros
Alejandro Valenzuela Martínez
Said Antonio Rezc Gutiérrez

Asesor

David Sánchez Monroy

México, D.F.
Mayo, 2008



**TECNOLOGICO
DE MONTERREY**

Biblioteca
Campus Ciudad de México



TECNOLÓGICO
DE MONTERREY

Diseño Integral de una Ortesis para el Tratamiento del Síndrome del Túnel del Carpo

Resumen:

Se presenta a continuación el análisis que sustenta el diseño de una ortesis capaz de garantizar una posición funcional para la muñeca en estadios leves y moderados para el síndrome del túnel del carpo (STC), integrándola con una termoterapia basada en la reacción exotérmica del sulfato cúprico y agua destilada. Potencializando así la rehabilitación de pacientes con el padecimiento. La propuesta aquí descrita tiene un bajo costo de fabricación por lo que podrá tener un impacto positivo relevante en el sector social que más afecta el STC.

Kenia Fabiola Sáenz Trigueros

Alejandro Valenzuela Martínez

Said Antonio Rezc Gutiérrez

Diseño Integral de una Órtesis para el Tratamiento del Síndrome del Túnel del Carpo....	1
Agradecimientos.....	2
Said:.....	2
Kenia:	2
Alejandro	2
Dedicatoria	3
Said	3
Kenia	3
Alejandro	3
Capítulo 1.....	7
1. Problemática	7
2. Anatomía de la articulación de la muñeca.....	8
3. Síndrome del túnel del carpo	10
3.1. Síntomas y Examen Clínico.....	12
4. Objetivo	12
Capítulo 2. Tratamientos, el escenario actual.....	13
1. Tratamiento.....	13
1.1. Férula u Órtesis para la articulación de la muñeca	13
1.2. Medicación Oral.....	15
1.3. Inyecciones locales	15
1.4. Crioterapia.....	16
1.5. Termoterapia	17
1.6. Ultrasonido	18
1.7. Terapia con TENS	19

1.8. Cirugía	21
2. Estudio de análogos	22
Con base a los análogos se	26
Capítulo 3: Descripción de la solución	27
3.1 Modelo estructural.....	27
3.2 Justificación del Diseño	28
Alma Rígida	29
Sistema de sujeción.....	37
Muñequera	42
3.3 Terapia	50
Capitulo 4. Pruebas y Resultados	54
1. Alma rígida.....	54
2. Temperatura	55
3. Comodidad	56
Capitulo 5. Conclusión y Trabajo a futuro.....	64
1. Conclusión	64
2. Trabajo a futuro	65
Referencias	66
Glosario.....	68
Anexos	70
Anexo 1: Entrevistas a especialistas.....	70
Anexo 2: Planos de diseño.....	75
Anexo 4: StoryBoard del uso de la muñequera.....	78
Paso 3: Ajustar broches en cruz.....	79
Paso 4: Abrochar segunda mitad de la cinta	79

Vista FINAL de ortesis en paciente:.....	79
Anexo 5: Breve análisis de factibilidad	80
Análisis del entorno	80
Clientes	80
1. ¿Quiénes son y Dónde están?	80
2. Volumen de compra	80
3. ¿Cuántos son?	80
4. Sensibilidad al precio	80
Barreras	81
1. Economías de escala	81
2. Valor de marca	81
3. Posicionamiento	81
4. Costo de cambio	82
5. Curva de aprendizaje.....	82
6. Políticas Gubernamentales.....	82
Sustitutos	82
Competidores.....	83
1. ¿Quiénes son?	83
Crecimiento de la Industria	83
Ventaja competitiva.....	84
Proveedores	84
Conclusión de Análisis del Entorno.....	84

Capítulo 1. El síndrome del túnel del carpo: causas y efectos

En últimas fechas debido al acelerado y rutinario estilo de vida que se tiene muchos padecimientos se han vuelto más comunes. Uno de éstos es el síndrome del túnel del carpo (STC). El túnel del carpo, llamado así en alusión a su morfología, es un contenedor de tendones flexores que controlan el movimiento de los dedos de la mano; así mismo es la vía de paso para el nervio mediano. Los movimientos repetitivos, entre otras cosas, puede causar un incremento de tamaño de dichos tendones, causando presión en el nervio mediano y por ende el síndrome del túnel del carpo (STC).

Así mismo, este padecimiento puede complicarse, ya que de no tratarse oportunamente se puede producir una pérdida progresiva de coordinación y fuerza en el pulgar. En consecuencia, algunas actividades cotidianas del afectado se ven interrumpidas, como abotonar una camisa o tomar cualquier objeto, disminuyendo considerablemente su calidad de vida.

La inflamación antes mencionada es multifactorial, ya que incluso puede ser ocasionada por los hábitos de alimentación de una persona, por ejemplo, al retener líquidos por el consumo excesivo de sal, la probabilidad de inflamación es mayor. Así pues, actualmente las costumbres diarias están incrementando la incidencia del STC, esto por los movimientos rutinarios que se tienen sobre ciertos tipos de músculos tales como los de la muñeca, como en el uso constante de la computadora (Mouse y teclado).

El presente capítulo se encargará de adentrarse en aquellos factores críticos en el desarrollo del síndrome, haciendo énfasis en la fisiopatología que hoy por hoy se ha convertido en el síndrome músculo esquelético con mayor frecuencia de origen ocupacional.

1. Problemática

El síndrome del túnel del carpo es uno de los síndromes más comunes de compresión nerviosa. Afecta del 1% al 3.4% de la población general y es más común en mujeres que en hombres. (Caillet, 1994). Una encuesta encontró que afecta a un 7% de las mujeres, en comparación con el 1% de los hombres en la población mundial.

Investigaciones realizadas por el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH), organismo gubernamental de Estados Unidos, confirman que los trabajos cuyas tareas requieren acciones manuales altamente repetitivas tales como doblar la muñeca o cualquier otra

postura que someta a tensión el área, están relacionados con incidentes de STC. Mas aún, aparentemente este riesgo no se limita solamente a una industria o trabajo, sino ocurre en muchas profesiones como la manufactura e incluso la odontología. De hecho, la mayor frecuencia casos reportados al NIOSH relacionados con el STC, indican que los trabajos que requieren de cortar, montar piezas pequeñas, coser y limpieza son los de mayor incidencia al síndrome, por lo que puede determinarse que un factor común en estos trabajos es la mala ergonomía.

El 47% de los casos del síndrome del túnel de carpo están relacionados con el trabajo. La ocupación laboral más frecuentemente registrada en este estudio fue el de ama de casa en el 33% de los casos, obrero en el 20%, enfermera 15% y secretaria 10%. Alrededor del 1% de las personas que tienen síndrome del túnel carpiano puede desarrollar una lesión permanente en la mano afectada. E incluso en los casos donde el síndrome requiere de intervención quirúrgica los síntomas pueden volver a presentarse, según datos esta incidencia es del 5%. (Ciénegas-Ramos, 1995)

Tan solo en México afecta al 1% de la población general, la incidencia de este síndrome es de 1 a 5 casos por cada 1000 personas al año. De ese mismo porcentaje, el 83.9% de los casos son mujeres y el 13.6% son hombres. La condición puede ocurrir a cualquier edad, sin embargo la edad promedio de la afección es en personas económicamente activas entre los 20 y 55 años. (Sociedad Española de Neurología, 2005)

Es por esta razón, que la disminución de la incidencia al síndrome del túnel del carpo es deseable, ya que es un padecimiento que no sólo compromete la productividad de la persona, sino directamente ataca la calidad de vida del paciente.

2. Anatomía de la articulación de la muñeca

El carpo es una cavidad ósea cóncava, en su superficie posee un retináculo flexor o ligamento carpal transversal. Esta estructura forma las paredes y piso del túnel del carpo y la porción rígida del ligamento carpal transversal forma el techo. El ligamento carpal transversal se inserta en el tubérculo del escafoides y el pisiforme, y en el tubérculo del trapecio y el aspecto cubital del gancho del ganchoso. El espesor del ligamento carpal transversal es de 1,5 mm y su longitud de 21,7 mm en promedio. Proximalmente, el retináculo flexor es una continuación de la fascia anterior del antebrazo y distalmente se une a las fibras de la fascia medio palmar. (Quintero Cure, 2006)

La función principal del ligamento transverso del carpo, es actuar como polea para la mayoría de los movimientos de flexión, manteniendo los tendones flexores de los dedos dentro de su eje durante los movimientos de la muñeca, mano y dedos, disminuyendo la fuerza necesaria para efectuar los diferentes movimientos. (Saaibi, 1998)

El túnel del carpo (figura 1) alberga 10 estructuras las cuales son las siguientes: 4 tendones flexores superficiales de los dedos, 4 tendones flexores profundos de los dedos, tendón flexor largo del pulgar y el nervio mediano. Estos últimos tendones se encuentran rodeados por una vaina sinovial común. El tendón flexor largo del pulgar posee su propia vaina sinovial y se encuentra localizado en la parte radial del túnel del carpo. El nervio mediano está localizado justo por debajo del tendón flexor largo del pulgar y se pone en contacto con su superficie interna. El diámetro de dicho túnel tiende a ser más estrecho a nivel de la inserción del ligamento carpal transverso en el gancho del ganchoso, donde alcanza un diámetro en promedio de 20 mm, es en esta parte donde el nervio mediano se vuelve de morfología elíptica, y durante los movimientos repetitivos de la mano, se altera su forma, esto es, durante la extensión el nervio asume una localización más anterior, profunda al retináculo flexor y superficial al tendón flexor superficial del índice. Durante la flexión la forma elíptica del nervio mediano se aplana. (Quintero Cure, 2006)

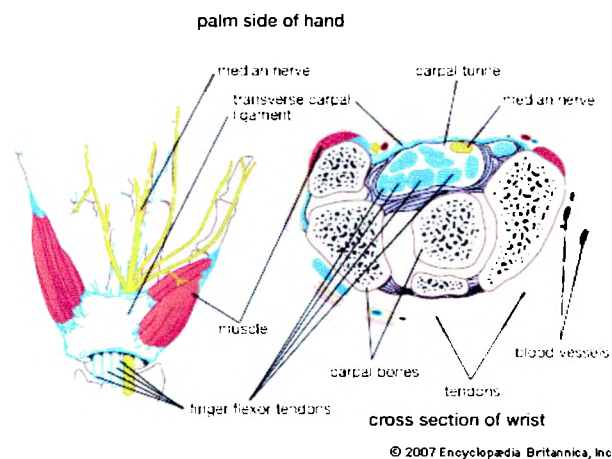


Figura 1. Corte transversal y vista sagital del túnel del carpo. Disponible en:

<http://cache.eb.com/eb/image?id=99117&rendTypeld=4>

El nervio mediano emite dos ramos sensitivos terminales que se distribuyen en la piel de la mano, esta inervación afecta a los tres últimos dedos y en la mitad del dedo índice. Así mismo, el nervio también envía una rama motora terminal para tres músculos de la eminencia tenar. (Moore, 2003) El nervio mediano inerva el oponente y el abductor corto del pulgar, el primer y segundo lumbrical y parte del flexor corto del pulgar. (Quintero Cure, 2006)

3. Síndrome del túnel del carpo

El síndrome del túnel del carpo es una intermitencia, compresión continua o hasta un atrapamiento del nervio mediano que pasa a través del túnel del carpo, viniendo desde la muñeca hasta la mano; incrementando la presión del nervio mediano en el túnel del carpo dando como resultados la degeneración sensorial y motora de los sitios donde se controla el nervio, mostrando síntomas de dolor y pérdida de la función. (Fisher, 2004)

El síndrome del túnel del carpo puede ser causado por cualquier cosa que produzca una hinchazón que afecte el nervio; por ejemplo, un quiste en el tendón, o la artritis reumatoide. Pero en la mayoría de los casos, este síndrome se debe a la inflamación producida por el uso excesivo de los tendones debido a los movimientos repetitivos de las manos y de los dedos en una posición con la muñeca doblada.

Por otro lado, el embarazo, la diabetes, las enfermedades de la tiroides, artritis reumatoide y el uso de píldoras anticonceptivas aumentan el riesgo de padecer de este síndrome. Así mismo es un padecimiento común en las personas que trabajan mucho con las manos, personas que usan computadoras, los carpinteros, los cajeros de los supermercados, trabajadores de ensambladura en línea, empaquetadores de carne, personas encargadas con la limpieza, músicos como violinistas y mecánicos.

Por tanto, la principal consecuencia del síndrome del túnel del carpo se refiere a una neuropatía del nervio mediano, dicho de otra manera, una falla en la conductividad del nervio. Por su lado, Saaibi (1998), clasifica el síndrome por la falla de conducción y la presentación de la sintomatología, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación neuropatía del nervio mediano

Clasificación enfermedad	Síntomas	Descripción síntomas
Clase 0	Asintomático	Sin síntomas y signos.
Clase I	Sintomático intermitente	Parestesias intermitentes con examen normal.
Clase IA	Irritabilidad del nervio mediano	Disparo neuronal excesivo que ocurre solamente con pruebas de provocación, parestesias nocturnas intermitente
Clase IB	Síndrome del túnel del carpo leve	Síntomas transitorios de STC (con el embarazo), suele ser asintomático. Algunos no requieren tratamiento, otros responden a tratamiento ergonómico/ conservador.
Clase IC	Síndrome del túnel del carpo moderado intermitente	Síntomas varias veces por semana. Algunos se benefician de terapia conservadora, otros requieren cirugía.
Clase 2	Síndrome del túnel del carpo sintomático persistente	Es común que tenga hallazgos neurológicos, estudios de neuroconducción anormal del nervio mediano. Habitualmente requiere cirugía.
Clase 3	Síndrome del túnel del carpo severo	Evidencia clínica de interrupción axonal del nervio mediano. Atrofia tenar. Muchos pacientes mejoraran después de la cirugía, pero algunos en forma incompleta.

3.1. Síntomas y Examen Clínico

Los síntomas más frecuentes para este padecimiento van desde parestesias tipo hormigueo y pérdida de la sensibilidad en el territorio del nervio mediano. Es común encontrar los pacientes refieren disestesias tipo ardor se irradian en sentido proximal a lo largo del aspecto anterior del antebrazo, inclusive hasta el cuello, se conoce como fenómeno Valleix. (Saaibi, 1998) Así mismo, si se continúa la compresión del nervio mediano durante tiempo prolongado se observa pérdida de fuerza para la prensión y finalmente, pérdida de la discriminación táctil. (Quintero Cure, 2006) En estadios tardíos puede existir atrofia muscular, siendo el músculo más tempranamente afectado el abductor corto del pulgar.

En el examen clínico, poco contribuye al diagnóstico del síndrome, pese a esto, existen pruebas provocativas que pueden ayudar al diagnóstico en estadios donde es más perceptible el padecimiento. Para la detección de este síndrome se hace ayuda de signos y reflejos descritos en la literatura. Tal es el caso del signo de Túnel, el cual consiste en realizar percusión de la muñeca para desencadenar una acción de hormigueo, traduciéndose en la capacidad de conducción del nervio mediano. Otro signo muy recurrido es el signo de Phalen, en el cual se realiza flexión de ambas muñecas durante 60 segundos, y si es positivo, el paciente referirá hipoestesia. Y por último la prueba de Durcan, la cual se mantiene una fuerza de compresión sobre el túnel del carpo por 30 segundos, si es positiva el paciente referirá hipoestesia.

4. Objetivo

- Desarrollar el modelo funcional de una ortesis para el padecimiento del síndrome del túnel del carpo, capaz de reducir la incidencia quirúrgica en estadios tempranos y moderados.

Capítulo 2. Tratamientos, el escenario actual.

En el capítulo anterior, se observaron características generales y la fisiopatología de la articulación de la muñeca, haciendo énfasis el síndrome del túnel del carpo. Así mismo, se determinó la posibilidad de diseñar o mejorar una nueva alternativa de solución para dicho padecimiento. Es por esta razón, que el presente capítulo se dedicará a discutir la diversidad de tratamientos, con el fin de valorar si es posible adecuar una terapia para soportar el tratamiento en épocas tempranas del síndrome.

En la segunda parte del capítulo se abordarán de manera cualitativa algunas de las ortesis comerciales, con el objeto de comparar sus características y determinar las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

1. Tratamiento

En primera instancia, pacientes con el síndrome del túnel del carpo deberán de evadir movimientos repetitivos de flexión y extensión de la articulación de la muñeca, ya que pueden agravar la condición de los síntomas haciendo que el tratamiento sea difícil de llevar. Si es posible, no deberán de usar materiales vibratorios, por que el movimiento de estas piezas, puede empeorar los síntomas. Así pues, parte del tratamiento conservador incluye el uso de muñequeras de soporte, incluyendo un tratamiento oral o inyecciones locales de corticosteroides. Aproximadamente el 80 % de los pacientes con síndrome del túnel del carpo responden positivamente a tratamientos conservadores después del lapso de 1 año.

1.1. Férula u Ortesis para la articulación de la muñeca

Las ortesis para la articulación de la muñeca (figura 2) sirven para mantener un ángulo neutro el área dañada, reduciendo el movimiento y evitando que el usuario realice secuencias repetitivas que generen un proceso inflamatorio en dicha área. Las muñequeras son probablemente más efectivas cuando son aplicadas durante 3 meses continuos al inicio de los síntomas. (Viera, 2003)



Figura 2. Ortesis de muñeca, con agarre de velcro en la articulación de la muñeca. Disponible en: <http://www.muellersportsmed.com/images/303.jpg>

Las ortesis se clasifican en estáticas, semiestáticas y dinámicas:

- Las ortesis estáticas previenen el movimiento y por tanto permiten el descanso de la parte inmovilizada. Por lo tanto, se debe tener cuidado de inmovilizar sólo la parte afectada. Para este tipo de ortesis deben moldearse los contornos de la parte inmovilizada con cuidado de no ejercer presión indebida. Se debe vigilar constantemente al usuario, ya que si la ortesis es usada durante un periodo prolongado puede provocar atrofia por inmovilidad, debilidad, rigidez y dependencia. Una ortesis estática debe tener márgenes y superficies lisas, evitando enyesados circulares. (Callet, 1994)
- Las ortesis semiestáticas impiden el movimiento, pero coloca las partes afectadas en una posición funcional. (Callet, 1994)
- Las ortesis dinámicas o funcionales permiten ser guía, límite o resistencia a ciertos movimientos específicos y previene otros. En este tipo de ortesis requieren involucrar algunas bisagras y fuente de energía externa e interna. La interna está dada por los músculos del paciente mientras que la externa consiste en bandas de caucho, resortes, barras de tensión. Estas ortesis se usan para contrarrestar la gravedad, corregir el desequilibrio muscular, evitar o corregir contracturas, corregir deformidades, sustituir la función motora o reforzarla. (Callet, 1994)

1.2. Medicación Oral

Diuréticos, antiinflamatorios no esteroideos, vitamina B6, y corticoesteroides han demostrado distintos grados de beneficio en el tratamiento del síndrome del túnel carpiano. Una reseña reciente de métodos conservativos para el tratamiento encontró que los diuréticos, antiinflamatorios no esteroideos y la vitamina B6 no son más efectivos que el uso de un placebo a una población que sufría dicho padecimiento. Pese a esto, muchos investigadores recomiendan la terapia con antiinflamatorios no esteroideos en conjunto con una ortesis para la articulación de la muñeca en pacientes en temprana sintomatología.

Por su parte, los corticoesteroides orales han demostrado beneficios superiores a los antiinflamatorios no esteroideos o los diuréticos en corto tiempo.

1.3. Inyecciones locales

Combinar inyecciones (figura 3) de corticoesteroides y anestesia local proximal a la luz del túnel del carpo puede ser efectivo en pacientes con clasificación IB e IC. Mientras algunos estudios evalúan la validez de las inyecciones locales, han demostrado que las inyecciones locales de corticoesteroides proveen de mejor alivio clínico en el lapso de un mes, esto contra un grupo de antiinflamatorios orales.

Después del tratamiento de inyecciones locales se recomienda generalmente el uso de una ortesis para la articulación de la muñeca. Cabe mencionar, si la primera inyección genera alivio, una segunda inyección deberá de ser considerada un par de meses después. Por tanto, si la primera inyección no genera datos positivos deberá de considerarse una liberación quirúrgica.



Figura 3. Inyección de corticoesteroides. Disponible en:

http://www.aafp.org/afp/20030215/745_f1.jpg

1.4. Crioterapia

La aplicación del frío en fisioterapia es casi siempre localizada. El enfriamiento de una zona corporal se consigue por la transferencia de calor corporal de un elemento externo cuya temperatura es más baja. El intercambio de calor se produce por varios mecanismos. (Juan Plaja, 2003)

La acción sobre el cuerpo va desde una presencia en vasoconstricción y disminución de la circulación local, por acción directa sobre la capa muscular arteriolar por la estimulación de los termorreceptores. Cuando la aplicación del frío es prolongada, se produce una vasodilatación, que dura sólo unos 5 minutos, continuándose con una vasoconstricción. Esta oscilación cíclica se atribuye a un reflejo axónico o a la inhibición de la contracción de la capa muscular lisa arteriolar. (Juan Plaja, 2003)

Así mismo, retrasa la conducción de los nervios periféricos, es un efecto rápido y poco duradero que semeja una acción analgésica por bloqueo o disminución de la actividad de las fibras A- γ . Se experimenta analgesia al interrumpir el ciclo dolor-contractura muscular-dolor, al disminuir los espasmos musculares incluso después de que se recupere su temperatura normal. (Juan Plaja, 2003)

El frío puede disminuir el dolor reduciendo localmente la circulación, la reacción inflamatoria y el edema postraumático liberando la presión sobre los nervios y estructuras periarticulares muy inervadas. (Juan Plaja, 2003) Para su aplicación eficiente se recomienda hacerlo dos a tres veces por un periodo de 10 minutos cada 2 horas, a medida que va pasando el tiempo, el intervalo de horas se va parcializando según la respuesta del organismo, siendo intervalos de 4 a 5 horas hasta el término total de la terapia de 72 horas.

1.4.1. Contraindicaciones

Puede llegar a producir hipersensibilidad, caracterizada por la aparición pasajera de manchas cutáneas rojizas o pálidas, ligeramente elevadas. El frío, además, produce agravamiento del dolor, entumecimiento y cambios de coloración a la exposición prolongada. Así mismo, una constante exposición puede generar crioglobulinemia. (Juan Plaja, 2003)

1.5. Termoterapia

La termoterapia superficial se puede aplicar localmente en una extremidad, parte de la misma o zonas de la cabeza o el tronco, pero también puede abarcar casi todo el cuerpo en un baño de agua, aire o vapor. (Juan Plaja, 2003)

Un aumento provocado de temperatura localizado pone en marcha mecanismos termorreguladores que van desde la vasodilatación, generando un aumento de la circulación local. Así pues, el calor acelera las reacciones químicas en los tejidos y aumenta el metabolismo, dicho de otra manera, aumenta la actividad enzimática. (Juan Plaja, 2003)

La elevación de temperatura aumenta la elasticidad y disminuye la viscosidad del tejido conjuntivo o fibroso, lo que facilita la elongación y la corrección de adherencias y contracturas. Es necesario alcanzar temperaturas locales elevadas entre 40 y 45 °C. (Juan Plaja, 2003)

Así mismo, el aumento de la temperatura cutánea disminuye directamente la sensación de dolor debido a los cambios que se producen en la conducción nerviosa periférica y en el umbral del dolor. La estimulación de los termorreceptores puede modular la transmisión del dolor a nivel medular. Así mismo, debido a la naturaleza del tratamiento presenta una acción desinflamatoria. (Juan Plaja, 2003) Para su aplicación eficiente se recomienda hacerlo dos a tres veces por un periodo de 18 minutos cada 2 horas, a medida que va pasando el tiempo, el intervalo de horas se va parcializando según la respuesta del organismo, la aplicación de este tratamiento se recomienda de no más de 2 semanas.

1.5.1. Contraindicaciones

El uso indiscriminado de la termoterapia, y más específico, la aplicación prolongada de calor en el cuerpo puede degenerar a los siguientes fallos o padecimientos: (Juan Plaja, 2003)

- Disminución de la sensibilidad
- Peligro de hemorragia
- Isquemia local
- Inflamación aguda

1.6. Ultrasonido

Es una vibración acústica en frecuencias ultrasónicas, no audibles. El ultrasonido terapéutico aplicado es de baja intensidad, pero con energías elevadas tiene otras aplicaciones en litotricia y destrucción de tumores. Se produce por la vibración de un cristal con propiedades electrostrictivas, que al recibir una corriente senoidal de elevada frecuencia la convierte en vibración mecánica acústica. (Juan Plaja, 2003)

El ultrasonido, por tener efectos térmicos por conversión de energía, se incluye entre las modalidades de diatermia o termoterapia profunda, pero también tiene otros efectos no térmicos. Se distingue de la onda corta y microonda de energía electromagnética, porque la energía sónica se comporta de manera distinta en la elevación de temperatura de los tejidos y en la penetración, y carece de contraindicaciones por inclusiones metálicas. (Juan Plaja, 2003)

Se recomienda que durante la terapia de ultrasonido, se realice el ultrasonido de manera pulsada con una intensidad de 0.5-0.75 y se debe de aplicar en el centro del canal evitando el camino del nervio. (Juan Plaja, 2003) La terapia con ultrasonido puede beneficiar el padecimiento en términos del largo plazo. Estudios comparativos de distintos tratamientos han mostrado que un tratamiento de ultrasonido muestra mejores beneficios en el periodo de 7 semanas que el tratamiento oral.

1.6.1. Modalidad de emisión continua o pulsada.

El ultrasonido se puede emitir de forma constante durante todo el tratamiento o bien en su forma de pulsos, intercalando pausas sin emisión. Los beneficios de la modalidad continua, a dosis bajas se ha observado que no eleva la temperatura de los tejidos y presenta una revascularización pronto. El ultrasonido pulsado, la emisión se interrumpe de forma periódica intercalando pausas en las que se disipa el mínimo de calor, por tanto el efecto del calor depende del ciclo de trabajo que se obligue al haz del ultrasonido. (Juan Plaja, 2003)

1.6.2. Efectos y contraindicaciones

Para su aplicación clínica, los efectos biofísicos del ultrasonido se diferencian en térmicos y no térmicos. Los cuales son los siguientes: (Juan Plaja, 2003)

- Aumento en la temperatura local

- Aumento en la circulación
- Aumento del metabolismo celular
- Modificación de las propiedades viscoelásticas del tejido conjuntivo, aumentando la extensibilidad de dichas estructuras
- Cavitación
- Flujos acústicos, alterando la permeabilidad de la membrana celular y producen la degranulación de los mastocitos

Esta terapia se recomienda en estadios tempranos del síndrome durante 15 minutos, en el periodo de un mes.

1.7. Terapia con TENS

Comúnmente utilizados durante la fase tardía del síndrome y en la postintervención. La estimulación nerviosa eléctrica transcutánea con fines analgésicos se introdujo en la práctica clínica en los años sesenta, y desde ese entonces se ha popularizado el uso de generadores sencillos para el tratamiento de lesiones y rehabilitación de padecimientos músculo esquelético.

Durante el uso de los TENS en baja frecuencia, proporciona la analgesia más rápido. Esta modalidad presenta una frecuencia de 100 s.f. Los parámetros definitorios son pulsos breves, alta frecuencia y baja intensidad. Su objetivo es la estimulación selectiva, o preferente, de las fibras aferentes A- β para bloquear las aferencias dolorosas a la médula. (Juan Plaja, 2003)

Las fibras A- β , de tacto y vibración, son las que pueden producir el bloqueo medular de la transmisión del dolor. Por ser de mayor diámetro, conducción más rápida y umbral más bajo que las del dolor, responden preferentemente a los pulsos breves, de 80-100 Hz de frecuencia y baja intensidad, aplicados al nervio o al dermatoma. Esta estimulación a las fibras bloquea la transmisión de las señales de dolor conducidas por dichas fibras. Para su uso del padecimiento del túnel del carpo, la estimulación con TENS convencional de 100 Hz se coloca el electrodo activo sobre el canal y el indiferente en la palma o dorso de la muñeca. Cuando se experimenta una evolución larga, suele haber atrofia de la musculatura del antebrazo, y es aconsejable la electroestimulación con corriente modulada, en pulsos de 200 μ s a 50 Hz, 2 segundos ON, 4 de contracción, 0.5 OFF y pausa de 4 segundos, durante 20 minutos. Los pulsos pueden ser rectangulares, pero se puede emplear senoidales. (Juan Plaja, 2003).

1.7.1. Electroodos

El aumento de tamaño de los electrodos disminuye el efecto así como la localización del mismo. Se colocan sobre un músculo del miotoma perteneciente a la misma metámera que el origen del dolor. Algunos aconsejan colocar el electrodo activo en el punto motor del músculo. (Juan Plaja, 2003)

1.7.2. Indicaciones Clínicas generales

La analgesia obtenida con TENS, como por todos los medicamentos analgésicos, es limitada, y no curativa del proceso causante del dolor. Sin embargo, la falta de efectos secundarios confiere a la TENS una ventaja sobre tratamientos únicos para disminuir la dosis de fármacos más enérgicos y también más peligrosos. (Juan Plaja, 2003)

La TENS es menos eficaz en personas depresivas y con ansiedad y en el dolor psicogénico y visceral. Es más eficaz en los dolores leves o moderados que en los graves. (Juan Plaja, 2003)

1.7.3. Duración y periodicidad de las sesiones

Debido al retraso en la aparición de la analgesia, las sesiones deben ser por lo menos de 20 a 30 minutos, salvo que haya intolerancia. En el tratamiento domiciliario se pueden realizar dos o más aplicaciones diarias; en clínica pueden reducirse a una sesión diaria o alterna. (Juan Plaja, 2003)

1.7.4. Contraindicaciones

Principalmente se ha observado trastornos de sensibilidad cutánea. Así mismo, la falta de cooperación del paciente, ya que debe de estar consciente del modo de colocación, el mantenimiento y el manejo del equipo. Se recomienda mejor abstenerse si porta marcapasos, bombas de infusión electrónica, estimuladores implantados o padece de Parkinson o epilepsia. (Juan Plaja, 2003)

1.8. Cirugía

La liberación quirúrgica debe de ser considerada para pacientes que no respondan a tratamientos conservadores, o sufren de un atrapamiento severo del nervio comprometiendo la conducción y por tanto, afectando colateralmente otros sistemas. La liberación es un procedimiento el cual usa anestesia local. El acercamiento tradicional utiliza para ello una incisión sagital, desde la porción palmar del borde distal del ligamento carpal transverso, continuándose longitudinalmente en la base de la palma, sobre el pliegue de la eminencia tenar, para terminar proximalmente en la superficie cubital del antebrazo, sobre el eje del cuarto dedo, realizando una “S” itálica a nivel del pliegue de la muñeca.

En la porción proximal del antebrazo, la fascia superficial es seccionada en forma longitudinal, identificando inmediatamente el borde cubital del nervio mediano. Posteriormente se identifica y secciona el ligamento carpal transversal y se secciona, reseca una lengüeta para evitar una unión fibrosa posterior. (Ciénega-Ramos, 1995)

Por su parte, existe una nueva tendencia menos invasiva y con mayor efectividad en el procedimiento, ya que reduce el riesgo de contraer infecciones o mostrar hipersensibilidad quirúrgica, esta es, por la liberación endoscópica. Este método reduce significativamente el dolor postoperatorio en el sitio de la incisión, así como proporciona mejores resultados estéticos y pronta recuperación. (Figura 4)



Figura 4. Operación tradicional cirugía incisión palmar.

Disponble en: <http://buffaloneuro.com/carptunl/Carsu1lg.jpg>

La figura 5 resume el empleo de tratamientos de acuerdo a la clasificación de la neuropatía del nervio mediano.

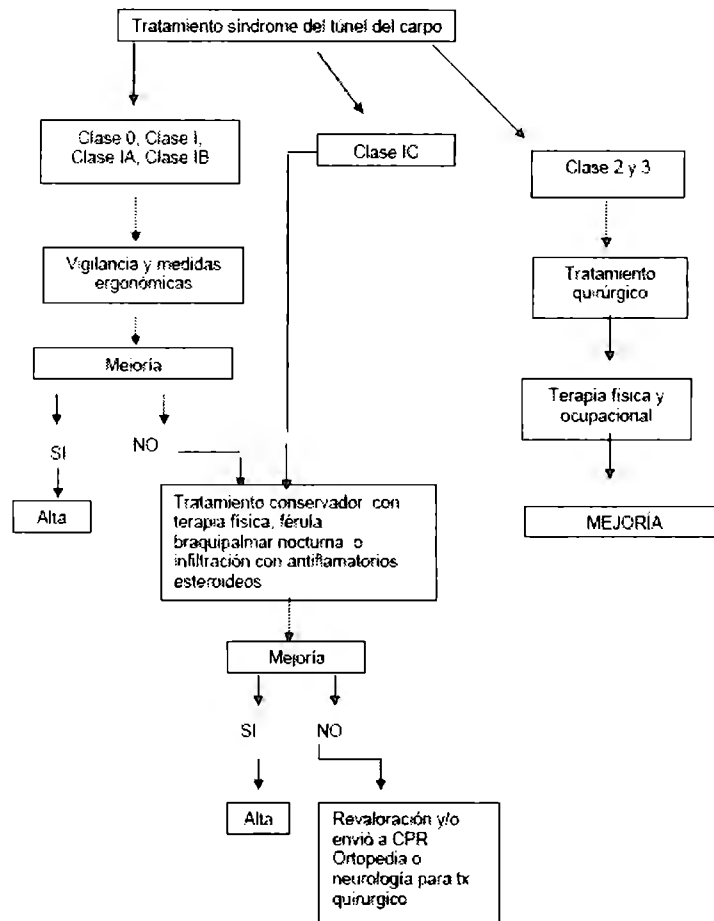






Figura 5. Algoritmo del tratamiento del síndrome del túnel del carpo.





2. Estudio de análogos




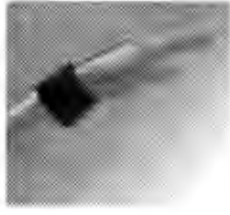
Es imprescindible el conocimiento de la oferta de tratamientos que existen en el mercado, más específico, de tipos de ortesis que brindan un tratamiento seguro y confiable al paciente. Es por esta razón, que el dedicarle un apartado en el presente trabajo al análisis de los análogos, se convierte no sólo en una herramienta de diseño sino en una inspiración para una mejora continua de dichas ortesis.


En la tabla 2, se presenta un análisis cualitativo de las ortesis más comunes en el mercado, así como la fortaleza y debilidad que cuenta el diseño.

Tabla 2. Análisis de análogos

PRODUCTO	TIPO	MATERIAL	CARACTERISTICAS
<p>Dorsal Carpal Tunnel Splint</p> 	inmovilizador	Kydex® plastic	<p>Soporte en metacarpianos, muñeca y antebrazo</p> <p>Estabilidad</p> <p>Inmoviliza totalmente la articulación</p>
<p>Ergonomic Wrist Support</p> 	cómputo	Cotton Lycra	<p>Prevención y alivio del síndrome del Túnel del carpo</p> <p>Superficie acolchada</p>
<p>Neoprene Wrist Splint</p> 	inmovilizador	1/8" de espesor de neopreno con nylon.	<p>Alma rígida removible</p> <p>Soporte superior o inferior</p> <p>Inmoviliza</p> <p>Ajustable</p>
<p>Ortesis inmovilizadora de muñeca</p> 	inmovilizador	Construida en polietileno blanco de baja densidad	<p>Posición funcional en dorsoflexión de 35°</p> <p>Provista de taladros de ventilación</p> <p>Cierre por velcros de ida y vuelta sobre pasador</p>

<p>Muñequera FUTURO</p> 	inmovilizador	Material elástico Elástico	<p>Fleje palmar extraíble</p> <p>Sistema de cierre regulable</p> <p>Zonas sensibles acolchadas</p>
<p>Ergonomic Wrist Support</p> 	cómputo	Cotton Lycra	<p>Soporte de pulgar</p> <p>Prevención y alivio del síndrome del Túnel del carpo</p> <p>Superficie acolchada</p>
<p>Pro-Tec Athletics Clutch Wrist Brace</p> 	deporte	Neopreno	<p>Permite la transpiración</p> <p>Control de los grados de libertad por medio de ajuste</p>
<p>Elastic Wrist Splint</p> 	inmovilizador	Elásticos	<p>Mantiene la posición funcional</p> <p>Inmoviliza totalmente la muñeca.</p>

<p>Carpal Tunnel Wrist Brace</p> 	<p>inmovilizador</p>	<p>1/8" de espesor de neopreno con nylon.</p>	<p>Ajuste alrededor de la muñeca lo cual le da mayor estabilidad</p>
<p>Perforated Wrist Splint</p> 	<p>inmovilizador</p>	<p>Tela perforada laminada.</p>	<p>Posición funcional</p> <p>Permite la transpiración</p>
<p>Pro-Tec Athletics Clutch Wrist Brace</p> 	<p>Uso diario</p>	<p>Neopreno</p>	<p>Confortable</p> <p>Elástica</p> <p>Bandas de neopreno</p> <p>Ajuste por medio de imanes</p>
<p>Relief From Carpal Tunnel Pain</p> 	<p>Uso diario</p>	<p>Elásticos y neopreno</p>	<p>Mantene la posición funcional por medio de un anillo</p> <p>Ambidiestra</p> <p>Estabilidad muñeca</p>

<p>Carpal Tunnel Wrist Brace</p> 	<p>Uso diario & deportiva</p>		<p>Permite la transpiración</p> <p>Metacarpianos libres</p> <p>Soporte en pulgar</p>
--	-----------------------------------	--	--

Con base a los análogos se pueden ver las posibilidades ya existentes para atacar el problema. Así como encontrar las deficiencias y virtudes de los mismos.

Estas características ayudarán a dar cierta base al diseño, así como conocer los materiales de los que están hechas las actuales ortesis. Como lo son:

- Soportes rígidos
- Confortable
- Ambidiestra
- Permite la transpiraciones
 - Y materiales como:
 - Neopreno
 - Polietileno
 - Lycra
 - Nylon ...

Otro punto importante del estudio de análogos es el encontrar las áreas de oportunidad que se tienen para el desarrollo del diseño

Capítulo 3: Descripción de la solución

Se presenta una descripción del diseño, así como las propiedades analizadas para ofrecer una solución viable. Al rediseñar una ortesis para el tratamiento del Síndrome del Túnel del Carpo, ésta deberá ser capaz de adaptarse a las necesidades de los usuarios, además de brindar una solución integral al contar con una terapia alternativa.

3.1 Modelo estructural

La propuesta del diseño comenzó con una lluvia de ideas, en la cual se enlistaron las características que debe tener cada parte que compone a la ortesis.

Estas características se dividieron a su vez en básicas y deseables; la razón es que existen algunos atributos esenciales, es decir, indispensables para que la ortesis cumpla su función adecuadamente. En cambio, hay ciertos atributos que si bien no son esenciales, significan un adelanto o mejora, pero que no resultan importantes para que ésta cumpla su función.

Durante el desarrollo del diseño se buscará no solo cumplir con la totalidad de las características básicas, sino incluso se buscará cumplir con la mayoría de las características que consideramos deseables.

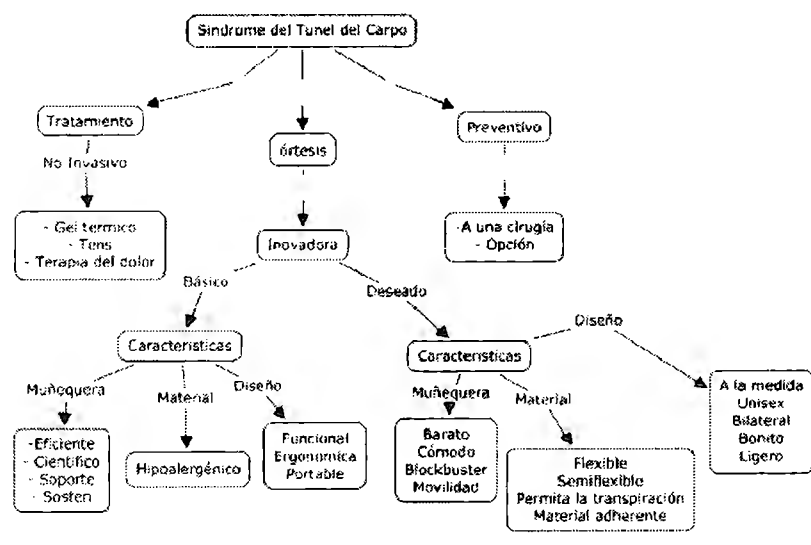


Figura 6. Diagrama de flujo STC

Una vez especificadas y delimitadas las características básicas y deseables de la ortesis, se comenzaron a desarrollar diferentes propuestas, cada una capaz de cumplir el mayor número de características posibles.

3.2 Justificación del Diseño

El diseño final se compone de tres partes principalmente, las cuales consisten en una muñequera, las sujeciones y el alma rígida.

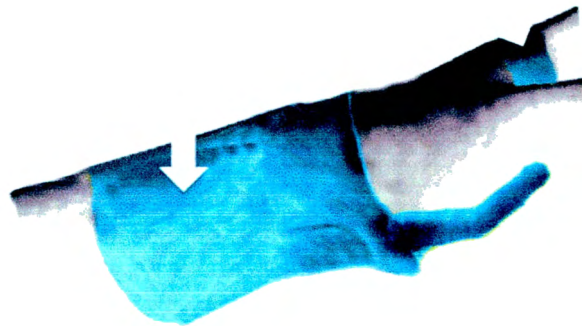


Figura 7. Boceto final de la ortesis

El primer acercamiento a las medidas de la ortesis se dio con base al percentil más pequeño de la población, ya que en este caso es más fácil lastimar e inhabilitar a los usuarios si la ortesis queda grande; sin embargo, esta se puede adecuar a medidas más grandes con ayuda de bandas elásticas u otros sistemas de ampliación.

El hecho de tomar como referencia el percentil más bajo se hace con la finalidad de darle a la ortesis una característica universal, pues de ser así, ésta podrá ser utilizada y adecuada a un mayor número de usuarios.

Una vez realizado el diseño preliminar de la ortesis, se prosiguió a hacer un análisis biomecánico de las piezas críticas que lo conforman, con el fin de obtener las medidas óptimas para el modelo funcional y prevenir los posibles fallos en el diseño.

El diseño final se analizará con base a sus tres componentes principales, muñequera, alma rígida y sujeciones.

Alma Rígida

Una pieza crítica es el alma rígida la cual se encargará de dar el sostén a la mano, para obtener el material adecuado de la misma es preciso hacer un análisis de las fuerzas que se ejercen en esta.

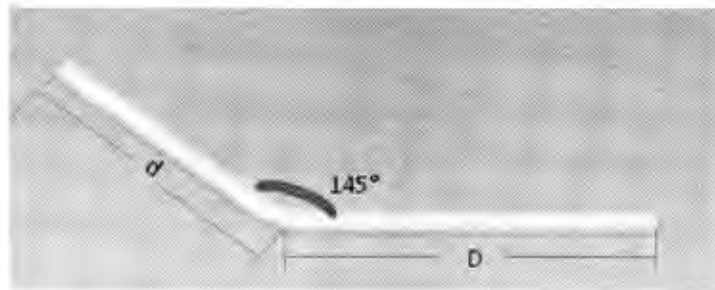


Figura 8. Dimensiones del Alma Rígida

Para este caso se hará un análisis biomecánico de los momentos y presiones ejercidas en la pieza. Las distancias y anchos de referencia se tomarán con base a las medidas antropométricas de la mano.

Tabla 2. Distancias de la Palma

d palma [m]
71
76
92
82

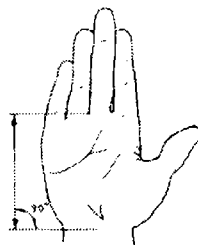
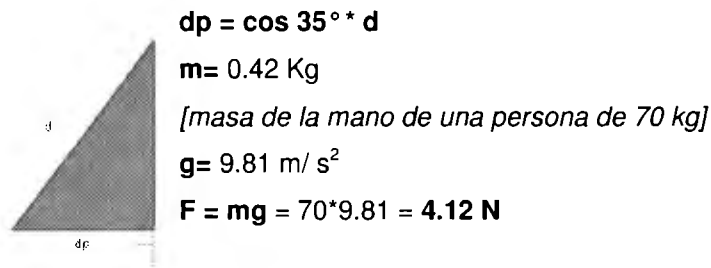


Figura 9. Antropometría de la mano zona palmar

Para analizar la fuerza que debe soportar la barra se calculó el momento que ejerce el peso de la mano sobre el alma rígida.

El objetivo de esto es obtener un momento pequeño, así como una distancia confortable para el paciente, de manera tal que se provoque un menor efecto de palanca sobre el material, evitando lastimar con la parte inferior de la barra la zona de la muñeca.



DCL

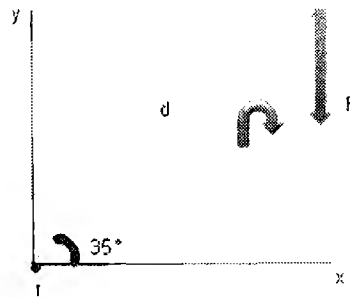


Figura 10. Diagrama de cuerpo libre de la barra

$$\tau = F \cdot d$$

Tabla 3. Resultados del análisis de Momento.

F [N]	d [m]	dp [m]	τ [N*m]
4.12	0.05	0.04518461	0.18616059
4.12	0.055	0.04970307	0.20477665
4.12	0.06	0.05422153	0.22339271
4.12	0.065	0.05873999	0.24200877
4.12	0.07	0.06325845	0.26062483
4.12	0.076	0.06868061	0.2829641
4.12	0.082	0.07410276	0.30530337
4.12	0.092	0.08313968	0.34253549

De acuerdo a los resultados expuestos en la tabla se puede notar que los momentos son relativamente pequeños; sin embargo, la mano, al ser un área relativamente pequeña, resiente los cambios de fuerzas por mínimos que estos sean, lo que provoca que el efecto de apalancamiento ejercido cause presión y por tanto llegue a lastimar. En consecuencia, la distancia óptima de la barra rígida será de 0.05 m, generando un momento menor, y permitiendo además incorporar a un número mayor de la población al ser más bajo incluso del percentil más pequeño.

Otro análisis importante para la ortesis es el cálculo de la presión que la barra ejerce sobre la zona palmar. Este parámetro es el que condicionará el confort que tenga el usuario.

Para el cálculo de la presión se utilizaron los siguientes datos:

$$\rho = F/A$$

$$m = 0.42 \text{ Kg}$$

[masa de la mano de una persona de 70 kg]

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F = mg = 70 \cdot 9.81 = 4.12 \text{ N}$$

El área se tomo en relación al ancho de aproximadamente los dos dedos medios de la mano. La cual varía de entre 0.02 y 0.04 m.

Tabla 4. Presiones del alma rígida en la zona palmar

F [N]	A [m]	ρ [Pa]
4.12	0.02	206
4.12	0.025	164.8
4.12	0.03	137.3333333
4.12	0.04	103

En esta ocasión, el área óptima del ancho de la barra sería de 0.04 m, sin embargo al probar esta medida en manos pequeñas, este ancho llega a ser lastimoso, e incluso, llega a condicionar el movimiento libre de los dedos. Por estos motivos se optó por tomar como área óptima la de 0.02 m.

La selección del material se ha dado con base a los siguientes parámetros:

- Propiedades mecánicas.
 - Modulo de elasticidad.
 - Tensión de último esfuerzo.
- Propiedades térmicas.
 - Conducción.
 - Punto de fusión
 - Tiempo de ablandamiento
- Costos
- Facilidad de maquilado

Los materiales considerados para esta pieza son algunos ya utilizados en la fabricación de diversas ortesis. Estos son: acero 316L, aluminio y un termoplástico (polietileno).

Acero 316L

El acero 316 L es un acero inoxidable austenítico, el níquel que posee es un elemento estabilizador de la austenita de ahí su nombre. Estos aceros son cúbicos centrados en las caras lo que los hace tener excelente ductibilidad, formabilidad y resistencia a la corrosión, sin embargo, esta característica puede ser afectada por algunos ácidos dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas. Estos aceros pueden ser trabajados en frío para alcanzar mayor resistencia. Estos aceros no son magnéticos por lo cual tienen un amplio uso.

Los biomateriales metálicos, gracias a sus propiedades mecánicas, se utilizan comúnmente para reemplazar tejido duro, es decir como aplicaciones ortopédicas. El acero inoxidable más utilizado como biomaterial es el 316L, entre otras cosas debido a su resistencia a la corrosión, dureza, mayor ductibilidad que otros metales implantables y buena biocompatibilidad. Entre alguno de sus usos más comunes están: componentes para reparación de articulaciones (TJA), tornillos, placas y cables.

Tabla 5. Propiedades del Acero

Acero 316L	
Propiedades Mecánicas	
Elongación	50%
Tensión de último esfuerzo	558 MPa
Propiedades Térmicas	
Conductividad térmica	16.2 Wm/k [100°C] (watt/metro*kelvin)
Punto de fusión	1371- 1399 °C

Aluminio

El aluminio cuenta con características que lo convierten en un elemento clave para poder generar sistemas de apoyo. El aluminio es un metal ligero que brinda suficiente soporte con solo unos gramos de peso. Además, el aluminio posee cierta resistencia a la corrosión, esto es nunca se oxida, lo cual lo hace un material resistente a las condiciones ambientales. También debido a sus características es usado frecuentemente para envolver alimentos, ya que es impermeable al agua, la luz y los olores, generando un aislante frecuentemente usado en enlatados. Por último pero no menos importante, la ductilidad y maleabilidad del aluminio son excelsas, encontrando aplicaciones tan diversas como es en los automóviles, aviones, marcos de ventanas, botes, papel aluminio, etc

Tabla 5. Propiedades del Aluminio

Aluminio	
Propiedades Mecánicas	
Elongación	-
Tensión de último esfuerzo	275 MPa
Propiedades Térmicas	
Conductividad térmica	210 Wm/k [100°C] (watt/metro*kelvin)
Punto de fusión	660.37 °C

Termoplástico

Un termoplástico es un plástico el cual, a temperatura ambiente es un plástico deformable, se derrite, haciéndose líquido cuando es calentado y se endurece en un estado vítreo cuando es suficientemente enfriado. La mayoría de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los que poseen cadenas asociadas por medio de enlaces químicos débiles (Van der Waals) como el Polietileno, también los que tienen fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno; o incluso anillos aromáticos apilados como poliestireno. Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse estos pueden recalentarse y formar otros objetos, ya que en el caso de los termoestables o termoduros, su forma después de enfriarse no cambia, quemándose por completo. Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces, pero generalmente estas propiedades van disminuyendo.

Los termoplásticos más usados son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el metacrilato (PMMA), el policloruro de vinilo (PVC), el politereftalato de etileno (PET), el teflón (o politetrafluoretileno, PTFE) y el nylon (un tipo de poliamida).

En el caso de la ortesis el termoplástico a utilizar es el polietileno.

Polietileno:

Es el polímero más simple, más fabricado y también el más barato, siendo uno de los plásticos más comunes. Es químicamente inerte. Se obtiene de la polimerización del etileno, del que deriva su nombre.

Este polímero puede ser producido por diferentes reacciones de polimerización. Cada uno de estos mecanismos de reacción produce un tipo diferente de polietileno. La abreviatura de polietileno comúnmente utilizada es PE. Los polietilenos pueden clasificarse en:

PEBD: Polietileno de Baja Densidad

- No tóxico
- Flexible
- Liviano

- Transparente
- Inerte (al contenido)
- Impermeable
- Poca estabilidad dimensional, pero fácil procesamiento
- Bajo costo

PEAD: Polietileno de Alta Densidad

- Resistente a las bajas temperaturas
- Alta resistencia a la tensión; compresión, tracción
- Baja densidad en comparación con metales u otros materiales
- Impermeable
- Inerte (al contenido)
- Baja reactividad;
- No tóxico
- Poca estabilidad dimensional

PELBD: Polietileno lineal de baja densidad

UHWPE: Polietileno de ultra alto peso molecular

PEX: Polietileno con formación de red

El este caso el material de interés para el alma rígida es el polietileno de baja densidad el cual posee las siguientes propiedades.

Tabla 6. Propiedades del Polietileno de baja densidad

Polietileno de Baja Densidad	
Propiedades Mecánicas	
Elongación	300%
Tensión de último esfuerzo	9 Mpa
Propiedades Térmicas	
Conductividad térmica	-
Punto de fusión	86 °C

Una vez investigadas las propiedades de los posibles materiales se prosiguió a hacer una matriz de decisiones, para ver cual cumple mejor las condiciones del diseño.

Tabla 7. Matriz de decisión para material

Material	Propiedades mecánicas	Propiedades térmicas	Costo	Maquilado	Total
Acero 316L	5	4	2	3	14
Aluminio	3	4	2	3	12
Polietileno de baja densidad	4	3	5	4	16

Escala: 1 pésimo – 5 excelente

De acuerdo a la matriz de decisiones se puede concluir que el material más óptimo para el alma rígida de la ortesis es el polietileno de baja densidad, ya que este cumple con las necesidades básicas y algunas deseables del diseño.

Sistema de sujeción

El sistema de sujeción se inspiró en los vendajes funcionales el cual es un tipo de inmovilización parcial, que se caracteriza por permitir una cierta movilidad funcional frente a las inmovilizaciones totales. Se utiliza en patologías ligamentosas, tendinosas y musculares. El vendaje funcional tiene la ventaja de evitar los efectos secundarios que las inmovilizaciones totales conllevan. Estos efectos secundarios van desde la atrofia muscular hasta la rigidez articular entre otras.

Técnicamente el vendaje funcional depende de la colocación de las tiras, el número, la longitud del brazo de palanca con relación al eje articular, la resistencia y la naturaleza del material empleado.

El mayor número de tiras activas y los brazos de palancas más largos van a aumentar la solidez del vendaje pero a costa de limitar la funcionalidad de la articulación. Los esfuerzos de tracción se concentran en los extremos de las tiras activas, llegando a lastimar las zonas cutáneas, por ello se intenta reducir la importancia de estas molestias con tiras más anchas, de manera que dichos esfuerzos de tracción se repartan por la superficie. Sin embargo esta técnica no puede ser utilizada en el caso de la ortesis ya que hacer las dimensiones más anchas implica restringir el grado de movimiento de los dedos o incluso llegar a incomodar o lastimar, por lo cual el ancho de las sujeciones se mantendrá constante.

Hay varias técnicas para aplicar el vendaje funcional sin embargo en este caso el proyecto se enfoca en la siguiente:

TÉCNICA CON ESTIRAMIENTO: se utiliza cuando las articulaciones o ligamentos lesionados son incapaces de funcionar correctamente y dependen del estiramiento para una corrección mecánica. Las tiras pueden aplicarse en forma de "I", "X" o "Y", dependiendo de la forma y tamaño de los músculos y elementos anatómicos a tratar. La tira irá desde el ORIGEN del músculo hasta su INSERCIÓN. Esta aplicación se utiliza fundamentalmente con el objetivo de dar sostén a la musculatura y asistirle en su función

En el caso de la mano y la muñeca las sujeciones se aplican en forma de "X" debido a la disposición de los músculos que la conforman.

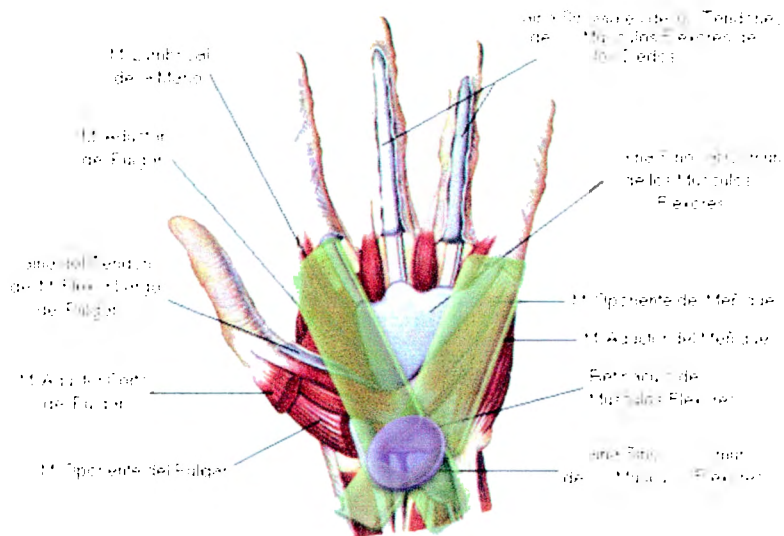


Figura 11. Sujeción en X sobre la mano

El centro de la X se sitúa justo en la articulación de la mano con la muñeca de manera tal que se obtienen un brazo de palanca con la longitud total del músculo de la mano, dándole un mayor soporte a la mano con menor esfuerzo. El resto de la X se ajusta a la muñeca para darle cierta tensión y rigidez a la sujeción.

El material para las tiras de sujeción deberá ser semirígido, esto es para dar la estabilidad necesaria a la sujeción pero con cierto grado de libertad al movimiento, además de poder ser adaptable a los diferentes anchos de la mano, de manera tal que no lastime al usuario.

El material que se considera más óptimo es el neopreno. En el mercado hay varios tipos de neopreno sin embargo hay uno que cumple con las características necesarias para ser usado en aplicaciones ortoprotéticas. El neopreno es un material plástico que pertenece al grupo de los elastómeros y que está constituido por macromoléculas orgánicas formadas por la polimerización del monómero llamado cloropreno.

Debido a que la síntesis del neopreno se realiza por procesos de polimerización en emulsión, se obtiene una espuma elástica que contiene celdillas de aire. Este material se recubre posteriormente con dos capas, una en la parte superior y otra en la inferior, de tejido textil, generalmente de nylon o de *lycra*. De acuerdo con la disposición y las características de estas celdillas se obtendrán distintos tipos de neopreno.

Neopreno de calidad ortopédica

Presenta varias capas que lo hacen diferente a otros tipos de neopreno:

- Capa exterior de *lycra*, que es un material menos abrasivo.
- Neopreno con celdillas cerradas que presentan un reparto regular y denso. Esta capa suele tener un grosor de 3 mm.
- Tejido en espiral que permite la evacuación y transpiración sin que se produzcan cambios bruscos de temperatura. El calor corporal se mantiene por efecto del neopreno dentro de esa cámara de aire que forma el tejido en espiral que permite la transpiración y evacuación del sudor sin encharcarse y sin producir, consecuentemente, maceraciones.

El conjunto de estas capas debe estar solidamente cosido, pero sin costuras internas para que no dañen la piel del paciente. Este material es el más adecuado para la confección de artículos ortoprotésicos que se utilizan en el tratamiento térmico y coadyuvante de la rehabilitación y de la prevención de las afecciones del aparato locomotor.

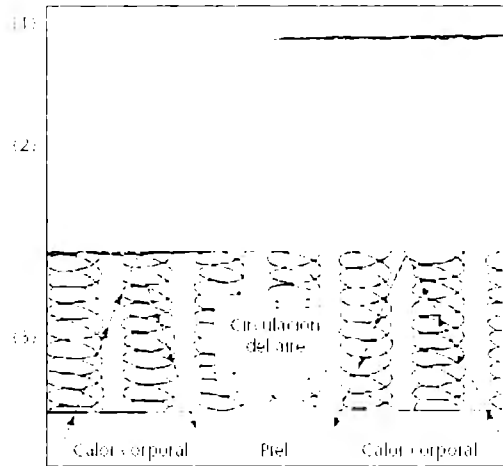


Figura 12. Estructura del neopreno de calidad ortopédica

Los anclajes de las bandas de sujeción se harán por medio de velcro, dado que en todo momento los sistemas de estructura y de estabilidad deberán estar bien adheridos entre si para lograr un buen soporte a la muñeca. El velcro funciona con base a ganchos (hooks) que se cuelgan de hilos en forma de bucles. La figura 5 ilustra dicho funcionamiento.

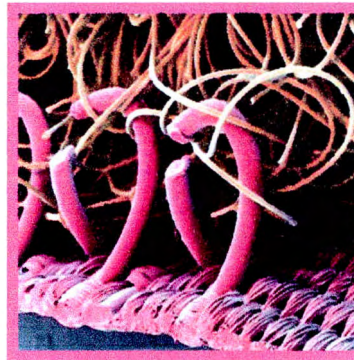


Figura 13. Funcionamiento del velcro.

Es importante mencionar que el peso soportado por este sistema varía según la cantidad de ganchos en la superficie, además del grueso que tengan los bucles, esto por que así se tiene mejor contacto y por ende soportará mayor peso. El velcro funciona de la siguiente manera al presionar ambos componentes, gancho y bucle, se consigue un cierre ajustable, altamente seguro.

Para solucionar el problema de la presión que se ejerce en el alma rígida y extremos de la banda de sujeción, se decidió incorporar una pieza de "technogel" que la proteja. TechnoGel es un material con base de poliuretano, con un grado de reticulación reducido, es especialmente flexible y muy elástico. La estructura química del TechnoGel da como resultado unas características del material muy interesantes:

- Grados "Shore" regulables individualmente
- Alta absorción de choques
- Alta elasticidad
- Buena fuerza de cizallamiento
- Tolerancia cutánea (Instituto de Comprobación Fresenius, Vko-TEX 100)
- Fácil combinación con materiales
- Encolado seguro
- Estable a la luz
- Transpirable
- Memoria de la forma; por lo que se adapta a la forma de cada individuo
- Buena distribución de la presión hasta un 60%
 - Mejora la circulación de la sangre
 - Capacidad de mantener en posturas correctas al usuario
 -

Sus propiedades y características le permiten aplicarse a las industrias médica y ortopédica como amortiguamiento para cualquier parte del cuerpo.

Ahora bien la propiedad del gel que nos ayudara en las presiones que se ejercen será la de absorber vibraciones y presiones hasta en un 60%.

Tabla 8. Comparación de Presiones.

ρ [Pa]	
Sin Technogel	206
Con Tecnogel	123.6

Como puede observarse en los resultados anteriores, el uso del technogel disminuye considerablemente la presión.

El gel también ayudara a disminuir la fuerza de tracción que se da en los extremos de las sujeciones, dando más confort al usuario. El gel estará dispuesto en forma de "T", la cual es adecuada para proteger la zona de los metacarpianos.



Figura 14. "T" de Technogel

Muñequera

La muñequera consiste en una abrazadera en forma de brazalete, esta cubre toda el área de la zona de la muñeca con el fin de protegerla y darle mayor estabilidad a la mano. En el diseño de esta pieza debemos tener en cuenta que el material que se utilice sea hipoalergénico, cómodo y que cause poca presión en la muñeca, debido a que el síndrome que se está tratando es debido a una presión, así como donde se incluirá el tratamiento que se desea.

El material óptimo es el neopreno de buena calidad ortopédica que se mencionó en el apartado de sujeciones, recordando un poco las propiedades de este material este es hipoalergénico, permite la transpiración y capaz de encapsular el calor propiedades que ayudan bastante a cumplir con las características deseables de la ortesis.

Como se menciona con anterioridad la muñequera tiene forma de brazalete. Para obtener las medidas de la misma, esta vez se basaron en el percentil más grande de la población, ya que en este caso el ajuste a percentiles más pequeños se podía lograr por medio de velcro.

Tabla 9. Medidas antropométricas de la muñeca

Perímetro del diámetro [cm]
13.9
14.6
16.5
19

Con base a la tabla anterior se decidió que la tira de neopreno que hará el brazalete de la muñeca no puede estar exactamente a 19 cm ya que el ajuste para este caso sería mínimo o nulo por lo tanto se decidió hacerlo más grande.

Para sacar la medida óptima se hizo una resta del percentil más grande con el más pequeño de manera tal que las distancias del ajustes entre los percentiles no sean excesivas, además de esta manera se logra librar de los ajustes la parte inferior de la muñeca, lo cual es la zona que se busca proteger.

Por lo tanto la longitud final del brazalete será 5 cm más grande que el mayor percentil.

En el brazalete también se debe incluir una forma de poder incorporar la termoterapia, la solución que se encontró es poner cerca del extremo opuesto a los ajustes una pequeña bolsita rectangular cosida al brazalete que solo deje uno sus lados libres, por el cual se introduzca el tratamiento. Esta bolsita va en el extremo donde se encuentre integrada el alma rígida de tal manera que se garantice que ambos componentes se encuentren en la zona central de la muñeca.



Figura 15. Brazalete con termoterapia

Otro componente clave del diseño de la ortesis es el blister el cual es el reservorio de la termoterapia.

Los blister son termoformables además de que brindan grandes ventajas de envasado como las presentadas a continuación:

- Garantizan la protección del producto contra el vapor, agua y gases
- Buena relación calidad-precio
- Garantizan una dosis fija, y mayor efectividad del producto
- Practicidad
- Fácil uso

El blister consiste en una media esfera que contendrá el agua destilada y en un contenedor rectangular en la parte inferior que será el encargado de tener el sulfato cúprico, además de ser el lugar donde la reacción exotérmica se llevará a cabo.

La selección para este material debe de ser cuidadosa ya que se trabaja con compuestos químicos y calor, además se debe tener en cuenta que buscamos el confort del paciente por lo tanto el material también debe ser lo suficientemente suave para no lastimar o incomodar al usuario.

Figura 16. Blister

La selección de los materiales de la media esfera del blister se basó en los contenedores utilizados para las medicinas, estos están hechos de tres plásticos principalmente; PET, polivinilo y poliestireno. La selección de entre estos tres se basará en las siguientes características: propiedades térmicas, tolerancia química, suavidad del material.

PET (Poli Etilén Tereftalato)

El PET es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, correspondiendo su fórmula a la de un poliéster aromático. Las propiedades del PET son las siguientes:

- Procesable por soplado, inyección, extrusión. Apto para producir frascos, botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- Transparencia y brillo con efecto lupa.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Barrera de los gases.
- Biorientable-cristalizable.
- Esterilizable por gamma y óxido de etileno.
- Bajo costo.
- Ranqueado N°1 en reciclado.
- Liviano.
- Barrera a gases u aromas.

No mantiene buenas propiedades cuando se somete a temperaturas mayores a los 70 °C. Posee buena resistencia química a los ácidos minerales, sales, jabones e hidrocarburos y pocas resistencias a las cetonas aromáticas y halogenadas.

Algunos de sus usos son: cajas, blister, pouches para envasado de alimentos, medicamentos, cosméticos. Y son fabricadas por extrusión plana o coextrusión por burbuja.

Tabla 10. Propiedades del PET

PET	
Propiedades Mecánicas	
Elongación	2%
Tensión de último esfuerzo	157.9 MPa
Propiedades Térmicas	
Punto ablandamiento	70 °C
Punto de fusión	257 - 277 °C

Polivinilo (PVC)

El policloruro de vinilo resulta de la polimerización por radicales libres de vinilo, esta polimerización resulta ser la más versátil de la familia de los plásticos además de ser termoplástico; bajo la acción del calor este plástico se reblandece y puede moldearse fácilmente y al enfriarse recupera su consistencia inicial y conserva la nueva forma. Del PVC se pueden obtener productos rígidos y flexibles.

Existen dos tipos de PVC el rígido y el flexible. Ambos poseen alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos

En este caso el enfoque es al PVC flexible, este material contiene ciertos aditivos que le otorgan la flexibilidad.

Algunas propiedades del PVC son:

- Ligero.
- Inerte.
- Resistente al fuego.
- Impermeable.
- Aislante térmico y eléctrico.
- Fácil de transformar.
- Reciclable.

Tabla 11. Propiedades del PVC

Polivinilo (PVC)	
Propiedades Mecánicas	
Elongación	50- 490%
Tensión de último esfuerzo	0.758- 23.9 MPa
Propiedades Térmicas	
Conductividad térmica	-
Punto de fusión	154 - 310 °C

Poliestireno

El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno.

Existen tres tipos principales:

- PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo
- PS choque, resistente y opaco
- PS expandido, muy ligero. Las aplicaciones principales

PS choque y el PS cristal son la fabricación de envases mediante extrusión-termoformado y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. La forma expandida se emplea principalmente como aislante térmico en la construcción.

Tabla 12. Propiedades del poliestireno

Poliestireno	
Propiedades Mecánicas	
Elongación	0.5 - 900%
Tensión de último esfuerzo	0.331-320 MPa
Propiedades Térmicas	
Conductividad térmica	0.0270 - 5.01 Wm/k [100°C] (watt/metro*kelvin)
Punto ablandamiento	115-135 °C

Con la información de los posibles materiales para la media esfera del blister se prosiguió a hacer una matriz de decisiones para la selección del mejor material. Las características que se tomaron en cuenta para la matriz son las siguientes: temperatura de ablandamiento, termo conductividad, resistencia química, reciclable, suavidad.

Tabla 13. Matriz de desiciones Material blister; Escala: 1 pésimo – 5 excelente

Material	Temperatura ablandamiento	Baja termo conductividad	Resistencia química	Reciclable	Suavidad	Total
PET	3	5	4	5	3	20
PVC	4	5	3	4	3	19
Poliestireno	3	4	3	3	5	18

De acuerdo a la matriz el material más óptimo para la semiesfera es el PET, debido a las propiedades que este tiene. Ahora bien falta decidir el material del contenedor y de la membrana que mantendrá separado el sulfato cúprico del agua. Esta membrana será del mismo material que las láminas de los blister de los medicamentos.

La lámina mas óptima para el blister es la “Lámina delgada Pentapharm® BAREX®”, las cuales están hechas de copolímero acrilonitrilo, se utilizan para la fabricación de envases flexibles que precisan de una alta resistencia química y mecánica. Estas láminas protegen contra el oxígeno y son químicamente inertes. La parte del contenedor es de suma importancia ya que debe ser capaz de tolerar la reacción exotérmica y permitir el paso del calor hacia la muñeca, el material debe ser un plástico termoformable de manera tal que sea fácil de manipular y no ejerza mucha presión en la muñeca del usuario causando incomodidad.

De acuerdo a los plásticos antes analizados el único que da cierta conductividad térmica es el poliestireno, por lo tanto este sería la mejor opción de los plásticos a utilizar para el contendor. Además de que el material tiene cierta suavidad, lo cual se busca en esta parte del blister para no comprometer el confort del usuario.

La incorporación del tratamiento a la muñequera quedaría de la siguiente manera:



Figura 17. Incorporación de la termoterapia a la muñequera

Con las medidas anteriores llegamos a cumplir un gran número de características básicas y deseables planteadas en el mapa mental al inicio del diseño.

Las características alcanzadas son las siguientes:

- a) Básicas
 - a) Soporte
 - b) Ergonómica
 - c) Portadle
 - d) Hipoalergénico

- b) Deseables
 - a) Unisexo
 - b) Bilateral
 - c) Barato
 - d) Cómodo

Los planos del modelo final de la ortesis se encuentran en el Anexo 2.

El diseño final de la ortesis se encuentra en el Anexo 3.

3.3 Terapia

De las alternativas antes mencionadas se seleccionaron las que ofrecían mejores beneficios en el tratamiento del STC. Así pues, con las investigaciones antes presentadas se realizó una matriz de decisiones para ver cual de estos era el más viable para implementar en la ortesis. En la matriz se tomaron diferentes criterios dependiendo la característica a calificar, de manera que la escala sea igual para todas las características.

La escala de la matriz es la siguiente:

1 muy malo, 2 malo, 3 regular 4 bueno y 5 muy bueno

Criterios:

- En beneficios, se tomó como intermedio 3 beneficios, si el tratamiento tenía más de tres beneficios se ponderaba del 4 al 5 y si tenía menos de tres (del 2 al 1)
- En contraindicaciones se utilizó la siguiente escala:
 - 1 Daño sistémico
 - 2 Daño moderado al Paciente

3 Daño bajo al paciente

4 Riesgo mínimo al paciente

5 Ningún riesgo

- El tiempo de exposición, consta del número de exposiciones que debe tener el paciente en el tratamiento de un mes y medio (rango promedio que dan de oportunidad los médicos para valorar la mejora del Síndrome antes de tener que ser intervenido quirúrgicamente). La referencia para evaluar es de 10 exposiciones, siendo el criterio de evaluación como se muestra: si el tratamiento necesita más de 10 exposiciones para dar resultados se califica del 2 al 1 y necesita menos se califica del 4 al 5.
- El tiempo por exposición base que se tomó es de 20 minutos, si el tratamiento excede los 15 minutos se califica del 1 al 2 y si es menor del 4 al 5.
- En cuanto a aplicaciones al día se tomo como base 3 aplicaciones si las aplicaciones pasan de 3 se califica con 2 y 1 y si es menor de 3 se califica de 4 a 5.

La tabla 3 muestra la matriz de decisiones para determinar la mejor terapia.

Tabla 14. Matriz decisión de terapia

Criterios	Seguridad Paciente	Beneficio (3)	Consumibles	Usabilidad	Tiempo Exposición	Tiempo por Exposición	Aplicación por día	Practicidad	Total
Crioterapia	2	3	5	4	2	2	3	5	26
Termoterapia	2	5	3	4	4	5	3	5	30
Ultrasonido	4	5	1	1	2	3	5	1	23
Tens	3	5	1	1	3	2	5	1	21

Con base en la matriz de decisiones, se obtuvo que el tratamiento más viable para implementar en la ortesis es la termoterapia. Las características que la hicieron la más viable son:

- Bajo costo en su implementación. (consumibles)
- Portabilidad.
- Seguridad y beneficios hacia el usuario.

Una vez seleccionada la termoterapia como base para el tratamiento, se consideraron algunas alternativas para cumplir con este objetivo. En primera instancia se consideró una bolsa pequeña de arroz con medidas de 6x3.5x0.5 [cm], la cual al calentarse alcanza los 47 °C durante un tiempo de 22 minutos. A inicios de la evaluación esta alternativa fue la más viable sin embargo, al hacer investigaciones para sustentar esta técnica, no se encontró una fuente confiable para hacer referencia, por lo que al desconocer los eventos adversos que puede esta técnica puede causar, se decidió utilizar otra alternativa.

Esta alternativa es un químico llamado sulfato cúprico [CuSO₄] es un compuesto químico derivado del cobre que forma cristales azules, solubles en agua (Chang, 2003). Este compuesto, en su estado anhidro, al combinarse con agua destilada produce una reacción exotérmica, la cual alcanza los 46 °C durante un periodo largo de tiempo (*véase capítulo Pruebas y resultados*).

El químico comercial es el sulfato cúprico penta hidratado y aun cuando su estado anhidro también es comercial, este último es muy caro, por lo que para obtener el anhidro a partir del compuesto hidratado hay que calentarlo durante varios minutos (el tiempo depende del gramaje). Conforme se va evaporando el agua, el compuesto tiende a transformar los cristales azules en un compuesto puro y blanco, es en este momento cuando ya se considera un compuesto anhidro. El producto final deshidratado, es el propio para combinar con el agua destilada y así producir la reacción exotérmica.

Dicho compuesto es muy noble, aun al estar haciendo la reacción exotérmica por lo que facilita considerablemente su uso.

Su interacción con la piel puede llegar a ser peligrosa porque en exposiciones largas el compuesto es muy irritante (Chang 2003), sin embargo para garantizar la seguridad del paciente, este nunca tendrá contacto con la piel de forma directa, ya que el compuesto estará

contenido en un molde de plástico similar a los blister de las medicinas, siendo la temperatura lo único que se aprovecha de este compuesto.

La reacción exotérmica se llevará a cabo dentro del blister mencionado que en un principio aislará tanto el sulfato cúprico (anhidro) como al agua destilada, la figura 6, muestra una representación gráfica del modelo.

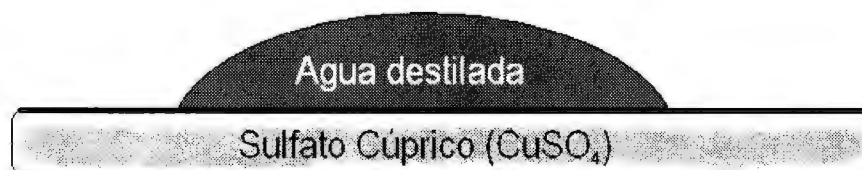


Figura 18. Modelo gráfico del blister para la termoterapia

Como se observa en la figura 6, el contenedor del sulfato cúprico estará en la parte inferior, mientras que el agua destilada estará en la burbuja (blister) en la parte superior. El usuario podrá oprimir esta protuberancia como un botón, para que el líquido se combine con el CuSO_4 y así comenzar la reacción.

Para este sistema de terapia, la muñequera en su parte estructural (lycra) tendrá un compartimiento para guardar el blister, este compartimiento estará hecho de nylon para favorecer su conducción térmica. Este compartimiento para ajustarse al tamaño de la mano quedará justo detrás del alma rígida por lo que se asegura una buena posición para el tratamiento

Capítulo 4. Pruebas y Resultados

Debido a las consideraciones y objetivos estipulados en el capítulo dedicado al diseño, es necesario generar medios de control cualitativos y cuantitativos que garanticen precisión y efectividad de dicha solución. Siendo esto mencionado, la razón de ser del capítulo de pruebas y resultados, es el analizar aquellos puntos críticos en el diseño, como lo es la precisión del ángulo del alma rígida, la temperatura alcanzada por el sulfato cúprico y la comodidad de la ortesis.

1. Alma rígida

El alma rígida no sólo provee soporte a la articulación de la muñeca durante el padecimiento, sino si se asegura los 35° señalados por los expertos, es capaz de garantizar un mayor alivio durante el tratamiento, esto es, el ángulo de 35° expande la luz del túnel y por tanto, mejora el acomodamiento de las estructuras, desapareciendo momentáneamente las molestias. Así pues, se deberá garantizar en todo momento el ángulo de 35° .

Ya que es una parte crítica en el diseño, se hicieron dos pruebas para asegurar el ángulo, una de ellas fue al inicio de la modelación de la barra, y la segunda medición para corroborar el producto final. En ambas pruebas el instrumento usado fue un transportador de 360° común y corriente. Se tomó como punto de origen del alma rígida el vértice formado entre la línea que soporta la palma contra la línea que soporta el antebrazo. La figura 7 presenta la metodología seguida para la corroboración del ángulo final.

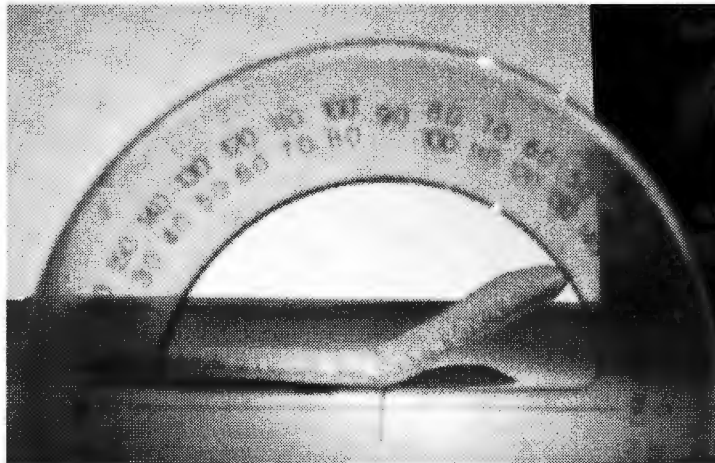


Figura 19. Metodología para determinar el ángulo de inclinación

2. Temperatura

Una de las cualidades del diseño generado, es la implementación de una termoterapia como se comentó anteriormente. La termoterapia, acorde a la literatura, no deberá de exceder de los 50°C, ya que puede ocasionar procesos degenerativos del tejido. Así mismo, deberá de garantizar al menos por 18 minutos una temperatura arriba de los 40°C, para mantener una perfusión adecuada y constante recirculación de sangre, traduciéndose en una sensación de alivio para el paciente. Es por esta razón, que la termoterapia es uno de los elementos que requiere mayor atención en el diseño.

El compuesto utilizado para generar una reacción exotérmica es el sulfato cúprico. Esta sal, al entrar en contacto con agua destilada genera una reacción química capaz de aumentar hasta 80° C sobre la temperatura ambiente. Para las pruebas se colocaron 3 gramos de sulfato cúprico combinado con 3 ml de agua destilada dentro de un vaso de precipitados de 10 ml, con el fin de obtener la temperatura de 45°C. La temperatura se midió con un termómetro de varilla escala -10°C a +420°C de la marca Kyntel. La reacción generada aumento rápidamente su temperatura, alcanzando un pico de 46°C a los 1.40 minutos a una temperatura ambiente de 21°C.

La figura 8 presenta el decaimiento de la temperatura sufrida con el compuesto expuesto a la temperatura ambiente.

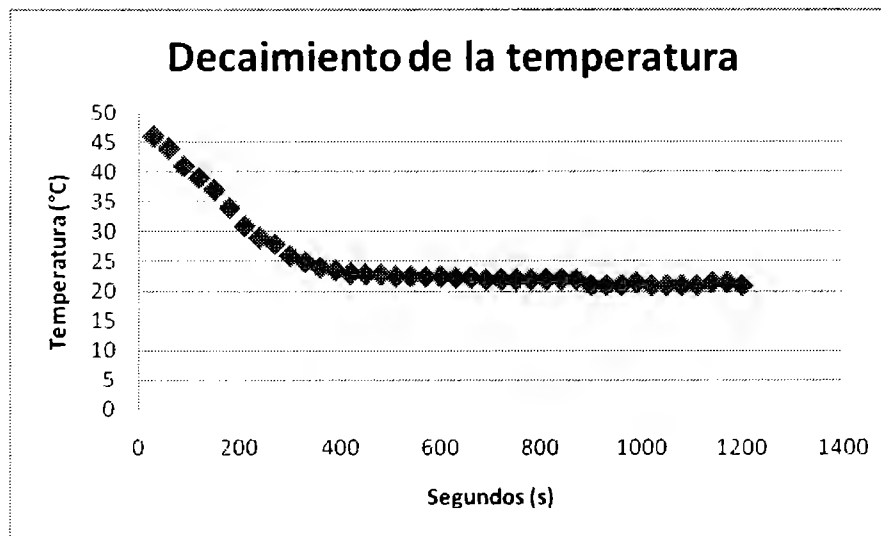


Figura 20 .Decaimiento de temperatura a temperatura ambiente 21 °C

Se puede observar de la figura 8, el decaimiento tiende a obedecer una curva exponencial, en la cual alcanza la temperatura ambiente en el tiempo aproximado de 660 segundos, o sease aproximadamente 11 minutos.

Una vez garantizada la temperatura inicial, es de suma importancia controlar la disipación del calor para asegurar un óptimo tratamiento. Se sabe que, el tiempo en el cual la terapia resulta benéfica al paciente es alrededor de 18 minutos, por lo que será necesario mantener dicha temperatura el mayor tiempo posible, sin cambios abruptos.

Es por esto, que el compuesto fue aislado con materiales usados en el presente trabajo. El material usado para las pruebas fue la lycra. La figura 9 muestra el decaimiento de calor contra el tiempo. Nótese que el material usado atrasa el decaimiento de la temperatura en el tiempo, siendo una opción viable para el proyecto.

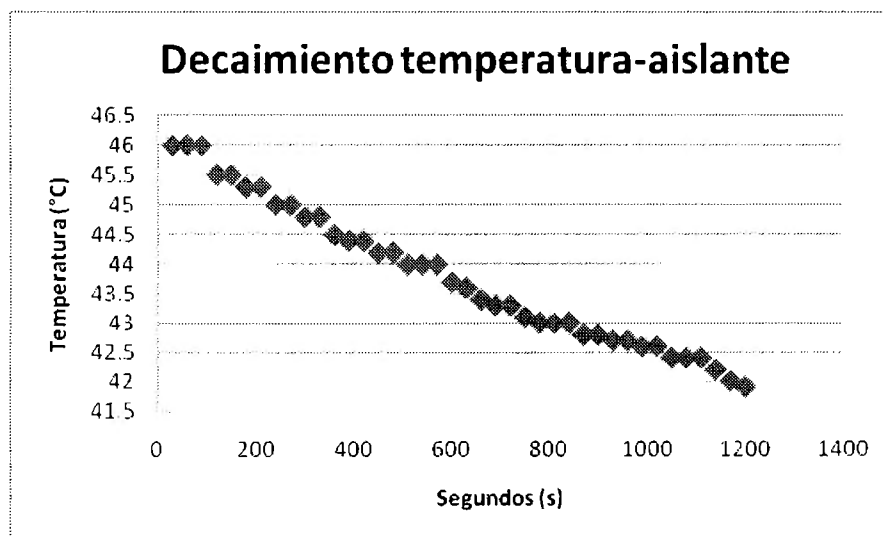


Figura 21. Decaimiento de temperatura con recubrimiento de lycra

3. Comodidad

Dentro de los objetivos del proyecto, se hizo énfasis en la comodidad de la ortesis. Es por esta razón que es una característica que sugiere atención total en el desenlace de la solución. Siendo esto dicho, a temprana construcción de un prototipo preliminar, se dio seguimiento sobre esta condición.

Para evaluar la comodidad que representaba el diseño, se implementó una entrevista (Véase anexo 2) que enumera cualidades esenciales del modelo, como lo son: comodidad de uso durante actividades, presión en puntos de contacto de los soportes en banda y morfología de la

barra. Para llevar acabo las encuestas, se contó con un alma rígida de masilla epóxica que emula las dimensiones reales de dicha barra. Los soportes fueron construidos con lycra y cocidos al alma rígida (figura 10).



Figura 22. Modelo funcional de lycra y masilla epóxica

El resultado de las 20 encuestas es el siguiente:

Para evaluar la comodidad en general de la muñequera, se solicitaba al entrevistado colocarse el modelo funcional y calificar de manera binaria, el grado de confort percibido con la muñeca en un estado estático. El resultado fue el siguiente:

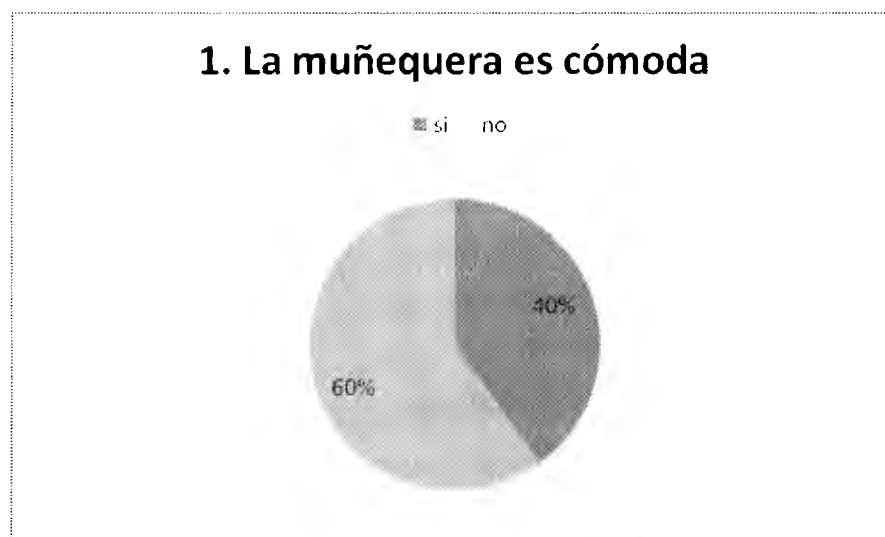


Figura 23. Gráfico de pastel de nivel de comodidad estática

De acuerdo a las especificaciones de diseño señaladas en el capítulo 3, se le otorgo un peso considerable a la comodidad de la ortesis, por lo que fue necesario evaluar estos conceptos por separado. Esto es, las preguntas 2, 3 y 5 evalúan el grado de confort del soporte en palma, alma rígida y soporte en muñeca, respectivamente; aproximando la razón de ser de la respuesta uno. Las figuras 11 y 12, muestran los resultados arrojados por dichas encuestas, siendo evidente que el tamaño del alma rígida es un factor de incomodidad, ya que un 60% de los encuestados consideran que es demasiado grande para las dimensiones de la mano.

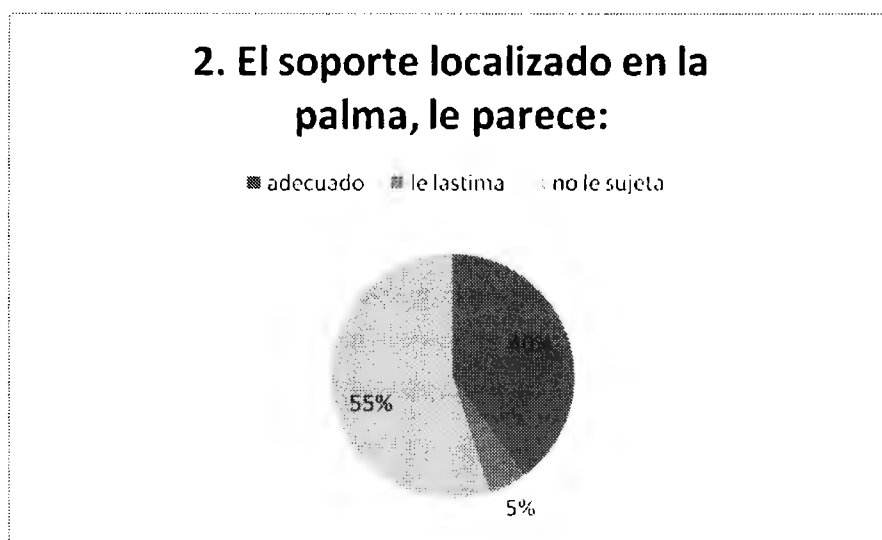


Figura 24. Gráfico de pastel refiriendo la comodidad del soporte palmar



Figura 25. Gráfico de pastel de las dimensiones del alma rígida de masilla epóxica

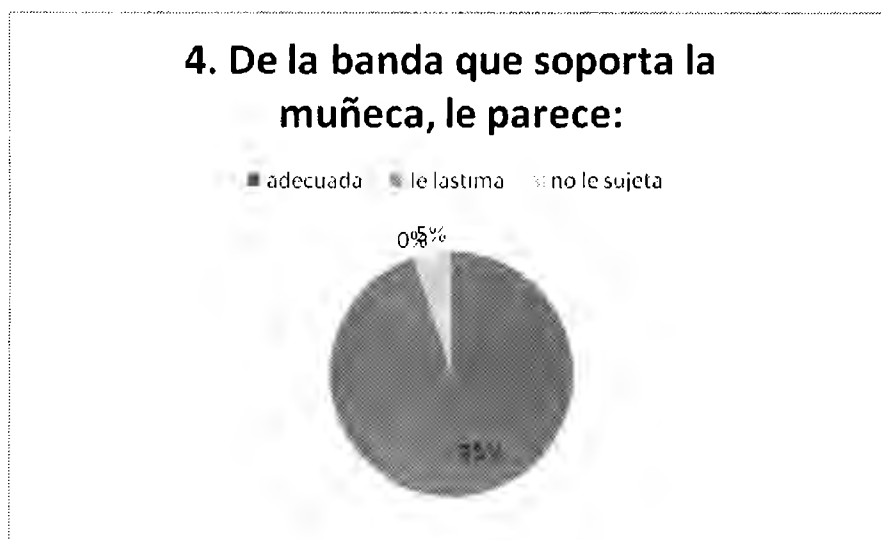


Figura 26. Gráfico de pastel sobre la comodidad del soporte en muñeca

Así mismo, dentro de la encuesta se evalúa el material, considerando dos respuestas únicas: sí el material escogido para la férula es el adecuado, generando un resultado positivo en la selección del material. La figura 15 muestra la población de acuerdo con el material.

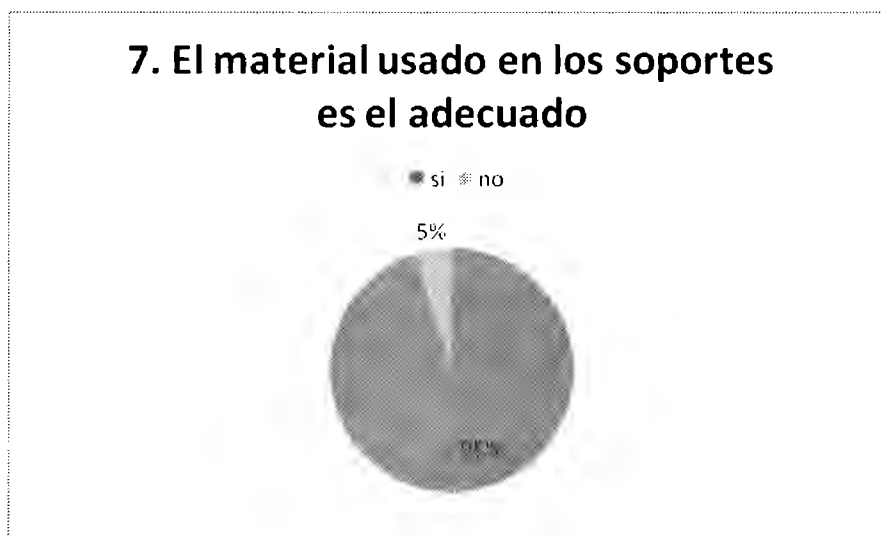


Figura 27. Gráfico de pastel sobre la implementación de lycra usada en el modelo funcional

Así mismo, una vez calificada las características de comodidad y material, se procedió a evaluar la característica dinámica de la ortesis, es decir, la férula de muñeca se diseño capaz de inmovilizar la dorsiflexión de la muñeca, sin comprometer sistemas circundantes como lo son la articulación de los dedos. La figura 16, muestra como el 65% de la población censada considera que no es lo suficiente cómoda la ortesis para mantener una actividad durante su uso.

8. Simule la escritura en un teclado, ahora considera que la muñequera es cómoda durante esta actividad:

■ si ■ no



Figura 28. Gráfico de pastel sobre la comodidad durante el uso de la ortesis durante actividades

Por tanto, debido a la respuesta generada por la encuesta, se decidió modificar aquellas partes que generaban mayor incomodidad dentro del uso. El capítulo 3 habla sobre las etapas de diseño seguidas para el planteamiento de la siguiente etapa. Por motivos de practicidad se omitió el desarrollo de aquellos accesorios que, en el diseño final, no se incluyen dentro del modelo funcional generado.

Es por esta razón, que una vez evaluados por separado los elementos de la muñequera y con base en las encuestas, se modificaron las piezas críticas, como lo son: la barra rígida y el soporte en el dorso de la mano. Para la barra rígida, se desarrollo un modelo más delgado y se pulieron las esquinas, las cuales generaban sitios de concentración de presión. Para el soporte en el dorso de la mano, se modificó la sujeción, por un sistema que focaliza la fuerza, antes ubicada en la palma, por un soporte que distribuye equitativamente al soporte de muñeca. Este mecanismo es abordado en el capítulo 3 con más detalle.

Generada la idea final, construida en lycra y masilla epóxica, nuevamente se encuestó 20 sujetos aparentemente normales, con el fin de evaluar nuevamente la comodidad de dicho modelo (Véase anexo 3). Los resultados son los siguientes:

Con las modificaciones realizadas en la muñequera, se evaluó el grado de comodidad, notándose una diferencia significativa en la evaluación en general de la ortesis estática. La figura 17 muestra los nuevos resultados arrojados por la ortesis rediseñada.

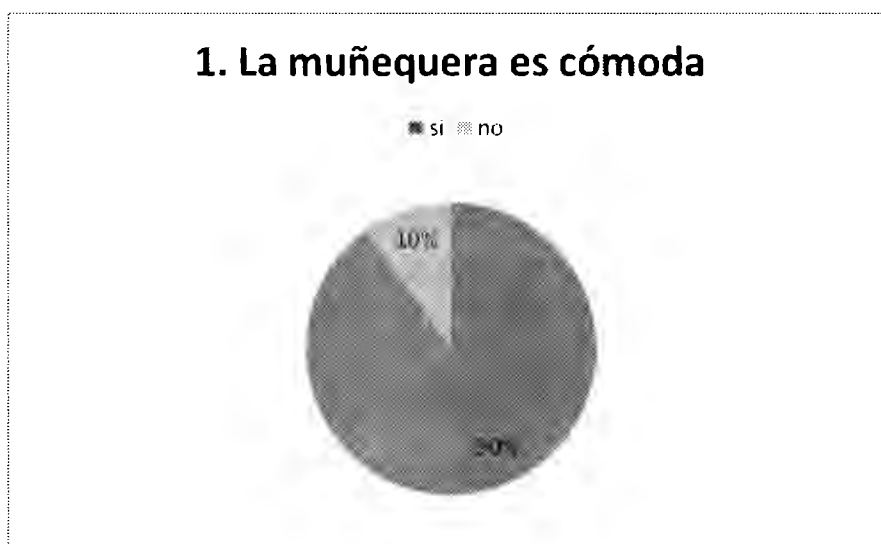


Figura 29. Gráfico de pastel de nivel de comodidad estática

Para los cambios en los soportes, los resultados sugirieron una alteración de la muñequera, efectuado correctamente, ya que es notorio el crecimiento del porcentaje de comodidad en la figura 18 y 19 aumentando 50% y 35% respectivamente.

2. El soporte localizado en la palma, le parece:

■ adecuado ■ le lastima ■ no le sujeta

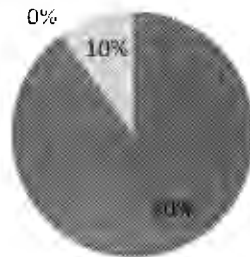


Figura 30. Gráfico de pastel refiriendo la comodidad del soporte palmar

3. En lo que respecta al tamaño de la barra central, la considera:

■ muy grande ■ adecuada

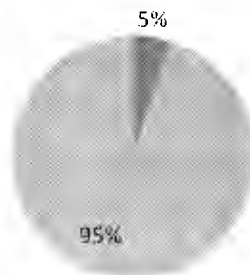


Figura 31. Gráfico de pastel de las dimensiones del alma rígida de masilla epóxica

Estas alteraciones, modificaron de igual manera la comodidad en el uso dinámico de la ortesis. Variando positivamente el confort generado con el diseño anterior, siendo este como se muestra en la figura 20.

8. Simule la escritura en un teclado, ahora considera que la muñequera es cómoda durante esta actividad:

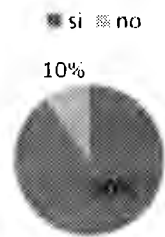


Figura 32. Gráfico de pastel sobre la comodidad durante el uso de la ortesis durante actividades

Capítulo 5. Conclusión y Trabajo a futuro

1. Conclusión

El incremento de la incidencia del síndrome del túnel del carpo durante los últimos años, hace evidente la necesidad de una innovación para su tratamiento, es aquí donde radica la importancia del proyecto presentado.

El diseño de broches cruzados provee de estabilidad lateral, además de ajustar la palma con el alma rígida. Esto, otorgará al paciente seguridad en su uso, sintiendo la muñequera estable y ajustada a la mano, siendo evidente esta respuesta mostrada en las encuestas generadas en el capítulo 4. pruebas y resultados dentro del subtema comodidad. La comodidad obtenida en el modelo final fue considerablemente mejor a la de otros diseños preliminares, lo cual insita a pensar que la morfología de la ortesis es adecuada para ser usada durante periodos largos de tiempo, cumpliendo así la meta de conservar la muñeca a una inclinación de 35°. Una vez que se garantiza esta inclinación la rehabilitación será potencializada en combinación con la termoterapia.

La temperatura planteada desde un inicio se logró con el uso del compuesto químico sulfato cúprico, el cual garantiza una temperatura promedio de 44° C durante un periodo de 18 minutos. Además, el compuesto al ser muy noble y de fácil uso, provee de una alternativa confiable para cualquier paciente. Esto último se vuelve importante cuando se considera que este padecimiento es ocupacional y la mayoría de las veces la muñequera será utilizada en un ambiente de oficina.

Siendo su costo en cuanto a materiales y en cuanto a manufactura muy bajo, la ortesis podrá tener un impacto relevante sobre el sector más afectado con este padecimiento. El costo de la ortesis considerando los materiales planteados y una manufactura en serie, lo deberá exceder los \$180 pesos, lo cual la hace muy competitiva, por las soluciones que ofrece. La muñequera cubrirá una necesidad aun no satisfecha, ya que los análogos existentes, no cubren el tratamiento integral que se ofrece aquí. Esta aseveración se hace en el breve análisis del entorno que se expone en el anexo 4

Con este diseño se ofrece un tratamiento integral capaz de optimizar la rehabilitación de un paciente con STC, evitando la interrupción total de sus actividades diarias.

2. Trabajo a futuro

Con la adquisición de patrones de dimensiones de la mano, y basado en la metodología descrita en el capítulo 3, es posible modificar el diseño en cuanto a su escala, con el fin de proveer distintas tallas y englobar a un sector específico de la población. Esto es, la adecuada implementación de un estudio ergonómico a cierto universo censado es capaz de generar un diseño focalizado para dicha población.

Así mismo, el presente estudio deja las puertas abiertas para desarrollar el ciclo general del diseño, siendo éste la generación de planos con sistemas computacionales especializados y sobretodo la construcción de prototipos, logrando asegurar, no sólo los materiales estipulados, sino igualar las dimensiones señaladas en el modelo funcional. Es por esta razón, que la continuidad del trabajo debe de centrarse en el cierre del ciclo de diseño de productos.

Por otra parte, una vez conseguido este prototipo, deberá de pensarse a un universo poblacional mayor al descrito en el trabajo, con el fin de aproximarlos a resultados más reales. También, realizar el estudio con pacientes dentro de los rangos descritos del padecimiento, siendo que en el presente estudio sólo se pudo evaluar comodidad por la limitante en el tiempo.

Respecto a la termoterapia, se deberá de centrarse una búsqueda más específica de evidencias sobre el calentamiento del arroz durante la exposición a microondas. Siendo esto dicho, el resultado de estos hallazgos puede plantear nuevas tendencias al diseño final de la ortesis, generando un consumible más barato y con menor impacto ambiental que el uso del sulfato cúprico, es por esto, que la constante investigación del arroz como medio termosensible es una pieza clave para el trabajo a futuro.

Referencias

1. Anónimo, (s.f.) Guías Diagnósticas de Medicina Física y Rehabilitación, Recuperado el 18 de febrero de 2008, de: http://132.248.18.54/NEW-HGM/pdf-guias-clinicas/apoyodiagnosticopdf/medfisica_rehabilitacion/tunel_delcarpo.pdf
2. Caillet, Rene (1994), Síndromes dolorosos MANO, Ed. Manual Moderno, 4ta. Edición, UNAM; México, 1994.
3. Chang R. (2003), Química, Mc Graw Hill, 7ª edición, Colombia
4. Ciénegas-Ramos Alberto Mario, Dr. Daniel Diego-Ball, varios, "Síndrome del túnel del Carpo. Resultados funcionales del tratamiento quirúrgico", IMSS, Edo. De México, México, 1995.
5. CLORURO DE POLIVINILO (PVC)? - Véalo en QuimiNet.com, http://www.quiminet.com.mx/art/ar_%25FE%25ED%25F120%2517Y%25A3.php
6. Doha L. Mar (1999), Musculoskeletal Diagnoses of carpal tunnel syndrome versus electromyography, Radiologic Clinics of North America. 1999
7. El cuerpo humano. Sistema muscular. Introducción a las Ciencias de la Salud, www.juntadeandalucia.es/.../salud/muscular.htm
8. Encyclopedia Britannica, Inc (2007) Enciclopedia Britannica, Recuperado el 18 de febrero de 2008, de: <http://cache.eb.com/eb/image?id=99117&rendTypeld=4>
9. Fisher, Bruce (2004) Diagnosis, Causation and Treatment of Carpal Tunnel Syndrome: An Evidence-Based Assessment, Recuperado el 18 de febrero de 2008, de: http://www.wcb.ab.ca/pdfs/CTS_Bkg_Paper.pdf
10. Frenk, J. (2001). Intervención del secretario de Salud, Dr. Julio Frenk Mora, durante la inauguración de la planta manufacturera del Grupo Roche Syntex en Toluca, estado de México. Recuperado el 31 de mayo de 2007 de: http://www.salud.gob.mx/unidades/dgcs/sala_noticias/discursos/2001-09-13-PLANTA-MANUFACTURERA-ROCHE-SYNTEX.htm
11. Genis Rondero, Miguel Angel (2007), Síndrome del túnel del carpo, Revista Mexicana del Dolor. Recuperado el 23 de abril de 2008, de: http://www.ametd.com.mx/revista/vol1_no4_oct_2007/sindrome.pdf
12. INEGI (2008), Población total por entidad federativa según sexo, 2000 y 2005, extraída el 12 de febrero de 2008 desde <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mpob02&c=3179>
13. Matweb, Online Materials Information Resource - MatWeb, <http://www.matweb.com/index.aspx>

14. Moore, Keith L. (2004), Anatomía con orientación clínica, 4ª edición, Editorial Médica Panamericana, México, 2004
15. NIOSH National Institute for occupational Scurity and Health, Ergonomics and Musculoskeletal Disorders, Recuperado el 23 de marzo 2008 de <http://www.cdc.gov/spanish/niosh/fact-sheets/Fact-sheet-705001.html>
16. Otto Bock - TechnoGel, http://www.es.ottobock.com/plasticos/techno_gel/sites/start.htm
Technogle, <http://www.technogel.it>
17. Plaja, Juan (2003) Analgesia por medios físicos, 1era edición, McGraw Hill, 2003.
18. Quintero Cure, Johanna (2006) Diagnóstico por imagen del túnel del carpo, Recuperado el 18 de febrero de 2008, de: http://caribdis.unab.edu.co/pls/portal/docs/PAGE/REVISTAMEDUNAB/NUMEROSANTE RIORES/REVISTA%209%202/AO_CARPO.PDF
19. Saaibi, DL (1998). Síndrome del túnel del Carpo. MedUNAB 1998.
20. Sociedad Española de Neurología (2005), Síndrome del túnel del carpo. Recuperado el 23 de abril de 2008, de: <http://www.senec.org/tunel.htm>
21. Sundhedsstyrelsen (2004) Ultrasound imaging in the diagnosis of carpal tunnel síndrome, Recuperado el 18 de febrero de 2008, de: <http://www.sst.dk/publ/Publ2004/CarpalTunnel.pdf>
22. Vebdale funcionales o Taping, <http://www.efisioterapia.net/articulos/leer11.php>
Farmacia práctica, "Calidad del neopreno utilizado en la ortopedia", fichas ortopédicas, vol 5 num7, julio-agosto 2006.
23. Viera, Anthony (2003) American Academy of Family Physicians: Management of Carpal Tunnel Syndrome, Recuperado el 18 de febrero de 2008, de: <http://www.aafp.org/afp/20030715/265.pdf>

Glosario

Ángulos suplementarios.- Suma de dos ángulos que da como resultado 180°

Antiinflamatorios no esteroideos.- También conocidos como AINEs, son sustancias químicas con efecto antiinflamatorio y analgésico que actúan bloqueando la síntesis de prostaglandinas.

Cavitación.- presentación de compresión y descompresiones que dan formación de burbujas microscópicas de gas o vapor

Crioglobulinemia.- es una agregación anormal de proteínas séricas en las partes distales de las extremidades

Crioterapia.- Terapia basada en el empleo de bajas temperaturas.

Disestesia.- perturbar la sensibilidad que se observa durante la excitación nerviosa

Edema.- Es la presencia de un exceso de líquido en los tejidos corporales.

electrorestrictivas

Fascia.- Capa de tejido conectivo que cubre o une estructuras corporales.

Fibras A- ζ .- Fibras delgadas, de conducción lenta que son responsables de la transmisión del llamado primer dolor

Hipoestesia.- Disminución patológica de la sensibilidad táctil

Litotricia.- Operación de pulverizar las piedras o cálculos dentro de las vías urinarias, riñón o vesícula biliar

Metámera.- Cada uno de los segmentos de cuerpos de simetría bilateral

Miotoma.- La distribución sobre el músculo de un segmento neurológico

NIOSH.- Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional

Órtesis.- La ortesis es definida como un elemento que corrige o facilita la ejecución de una acción, actividad o desplazamiento, procurando ahorro de energía y mayor seguridad al usuario. Las ayudas técnicas se indican cuando el paciente presente las siguientes condiciones: Dolor, claudicación, alteración de la funcionalidad de la marcha, inestabilidad articular, riesgo de caídas, inmovilidad.

Parestesia.- Sensaciones anormales como hormigueo, adormecimiento o ardor

Placebo.- Preparado farmacéutico inactivo cuyos efectos benéficos sólo son debidos a la sugestión del paciente de estar tomando un medicamento para su enfermedad; también se utiliza en estudios comparados para demostrar la eficacia de las sustancias medicinales.

Psicogénico.- Que tiene su origen en la mente

STC.- Síndrome del túnel del carpo

TENS.- Estimulación Nerviosa Transcutánea

Termorreceptores.- Nervio sensitivo sensible al calor

Vasoconstricción.- Estrechamiento de un vaso sanguíneo que se manifiesta en una disminución de su volumen

Vasodilatación.- Aumento del calibre o dilatación de los vasos

Anexos

Anexo 1: Entrevistas a especialistas

- Cuestionario para guiarnos en la selección del tipo de ortesis.
 1. ¿Qué problemas hay en la mano?
 2. ¿Cuál de estos problemas es susceptible de mejorar con la férula?
 3. ¿Cuál es el procedimiento de enferulado que aumenta la función inmediata y final del paciente?
 4. ¿Cuántas articulaciones hay que incluir?
 5. ¿Qué contacto de superficie se requiere o se acepta, o ambas cosas, para el padecimiento?
 6. ¿Cuál es el material óptimo y la utilización apropiada?
 7. ¿Cómo se mantendrá la férula en la mano?
 8. ¿Qué fuerzas deben ser aplicadas por la férula?
 9. ¿Con cuánta frecuencia ha de aplicarse la férula, y durante cuánto tiempo?
 10. ¿El paciente puede colocarse la férula sin ayuda?
 11. ¿Cómo interactuará el paciente con la férula?

- Cuestionario realizado a expertos acerca del síndrome.

Entrevista Piloto con expertos

1. ¿Cuál es la población mas afectada con el síndrome?
2. En el tratamiento (de inmovilizar la muñeca) que movimientos y estructuras se ven más afectadas
3. ¿Qué efectos secundarios existen al cortar el ligamento mediano?
4. Reciben el mismo tratamiento las personas que sufren el síndrome aunque las causas sean diferentes
5. ¿Qué consecuencias traería el tener la muñeca inmovilizada por un largo periodo de tiempo?
6. ¿Qué materiales son los más recomendables para la creación de la ortesis?
7. ¿Cuál es la competencia directa de una ortesis?
8. En qué estructuras debemos tener más la atención en la zona para no llegar a dañarlas
9. Hay modelos de una ortesis donde se utilizan imanes, estos influyen en algo al cuerpo.
10. ¿Cuánto dura el tratamiento del síndrome del túnel del carpo?
 - ortesis
 - quirúrgico
11. Hay un organismo específico que se especialice en el tratamiento del síndrome
12. ¿Qué es más común que el síndrome se presente en una o en ambas manos?
13. ¿Qué diferencia hay entre inmovilizar desde el antebrazo o solamente la muñeca?
14. Desde donde es mas recomendable inmovilizar y hasta donde
15. Hay alguna diferencia en la ortesis que usa una persona que ya ha padecido el síndrome y lleva tiempo con el y la que usa una persona para prevenir una cirugía o a principios del síndrome.

Dr. Jesús Montes

- Los movimientos que se deben de evitar por parte de la muñeca son la hiperflexión, hiper-extensión y la abducción.
- La muñeca se relaja con una ligera extensión y una ligera abducción
- La mayoría de los pacientes refieren mas el dolor en la parte interna sobre el pulgar
- El síndrome es más propenso por la falta de actividad física en la muñeca o por sobreesfuerzos.
- Tratamientos:
 - Crioterapia de 15 a 20 min. 3 veces al día cuando es una etapa aguda.
 - Termoterapia (baños de parafina) de 15 a 20 min. 3 veces al día en etapas crónicas.
 - Liberación de endorfinas de 12 a 14Hz. (terapia analgésica con tens)
- Consejos:
 - Prótesis que solo limite en cierto grado el movimiento
 - Regular el movimiento de abducción
 - Medir la movilidad articular (considerar un rango)
 - Controla la movilidad por medio de la tensión del pulgar
 - Ejercicios para revenir (quinesioterapia)
- Diagnostico:
 - Por medio de electromiografía
 - Pequeños golpes en la muñeca
 - Dolor casi siempre se refiere en la palma, antebrazo y muñeca
- Lugares donde se trata el Síndrome
 - Centro de rehabilitación
 - Clínica 32
- Personas que mas la padecen son mujeres entre 40 y 50 años
 - Posibles causas estructurales y debilidad de género.

Dr. Ralph Rodríguez Villalobos

- Lo padecen mas mujeres de edad mediana y mujeres embarazadas por actividades manuales degenerativas
- Al inmovilizar la muñeca se crea una hipertrofia por desuso a partir de las 3 semanas
- Las consecuencias post-quirúrgicas son mínimas, pero las más comunes son una posible perdida de la estabilidad y menos presión en los dedos
- No existen las ortesis post operatorias
- La ortesis se deben de encontrar en la posición funcional de la muñeca que es haciendo una s itálica con la muñeca y los dedos
- El tratamiento para el síndrome no depende del movimiento que lo causo es el mismo para todos
- La inmovilización debe de ser desde los metacarpianos hasta el antebrazo
- Los materiales de las ortesis son
 - Neopreno o lona
 - Fibra de vidrio
 - Velero
 - Piel
- Cuando esta el síndrome el tratamiento es traer una ortesis fija durante todo el día. Lo que se debe resolver ahí es:
 - Transpiración
 - Situación de la ducha del paciente
- Tratamiento:
 - Hidroterapia
 - Ultrasonido
- Se deben de evitar todos los rangos de movimiento
- La incidencia de una cirugía es de 50% de las personas que padecen el síndrome
- Recomendación
 - Dra. Juanita Zavala Taller de ortesis y prótesis CNR

Dra. Juanita Zavala

- Prevención
 - *Clínica de mano*: es un grupo de médicos, terapistas, ortistas, ingenieros biomédicos, médicos rehabilitadores; los cuales se dedican a atender a los pacientes de una manera más integral.
 - *Terapia ocupacional*
 - Higiene articular: es enseñarle a los pacientes cómo deben usar sus manos

- Tratamiento
 - Los tratamientos con tensos son de tipo analgésico
 - También nos recomendó el uso de parches transdérmicos antiinflamatorios
 - La mano se debe poner en posición funcional
 - El fin de cualquier ortesis es proteger el nervio mediano.

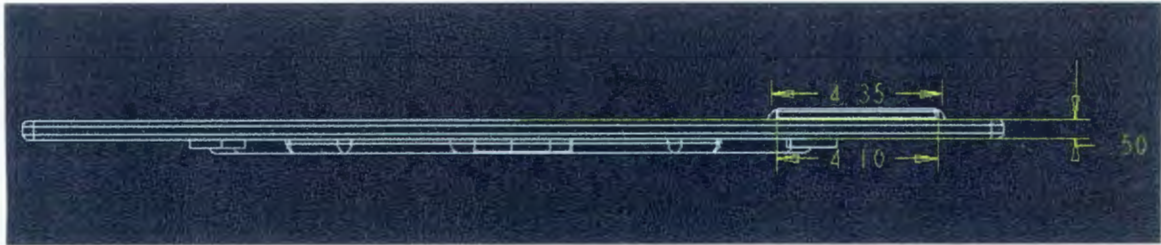
- Perfil del usuario
 - La mayoría son mujeres de 20 a 60 años
 - Las personas más afectadas con el STC son:
 - Secretaria
 - Odontología
 - Obeso
 - Ama de casa
 - Enfermeras

- La cirugía
 - Se realiza cuando la obstrucción del nervio es de más del 50%.
 - A los pacientes se les da la oportunidad de mejoría 3 meses antes de intervenirlos quirúrgicamente.

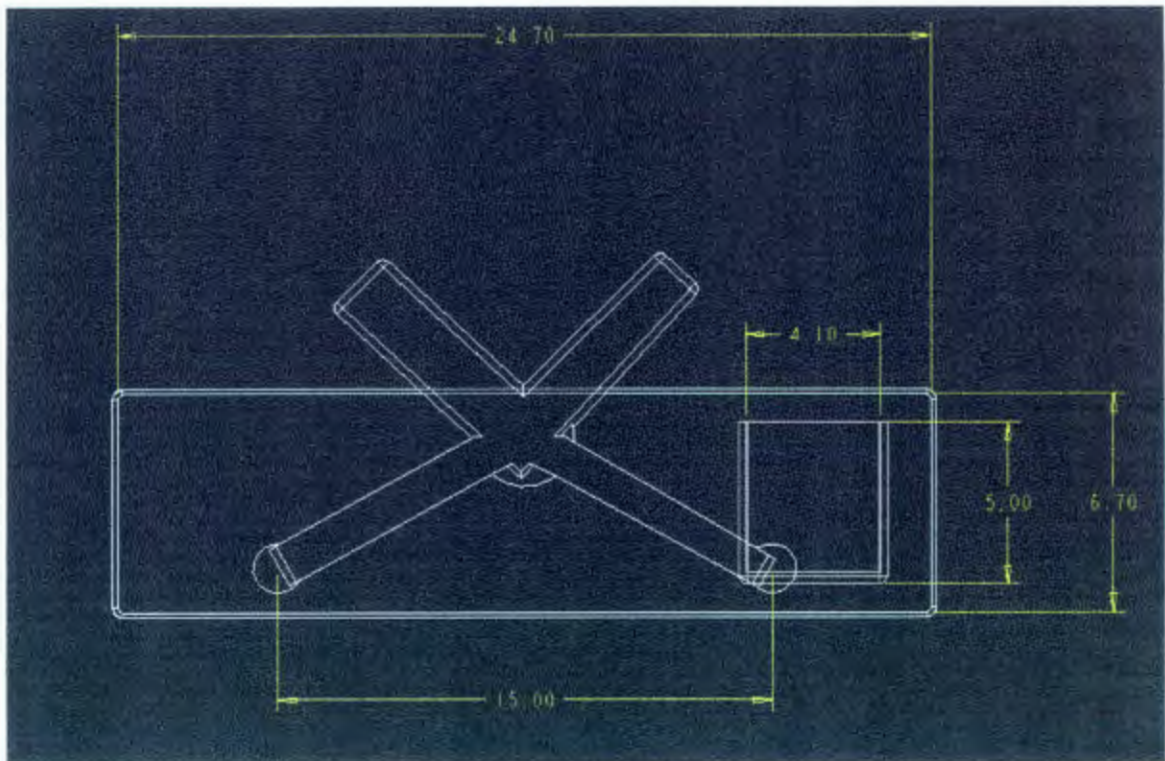
- En cuanto al diseño
 - El tiempo de vida de una ortesis es aprox. de 1 año
 - Materiales más utilizados
 - Aluminio de acero
 - Lona
 - Termoplásticos
 - Lo ideal del diseño es que se haga mano a mano
 - El mayor problema de las ortesis es a lo largo de la palma y en los metacarpianos
 - El mejor soporte es desde el antebrazo

- Mejoras de la ortesis
 - Precio alrededor \$300-500
 - Mejorar la sensibilidad

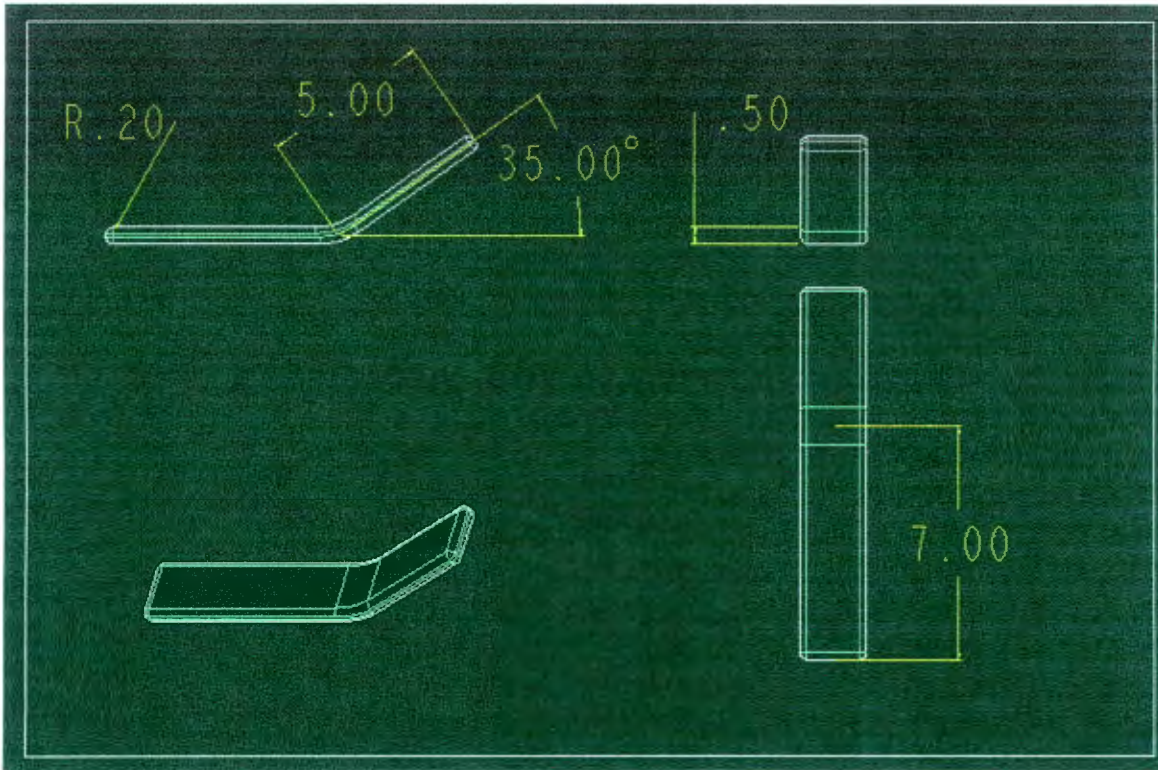
Anexo 2: Planos de diseño



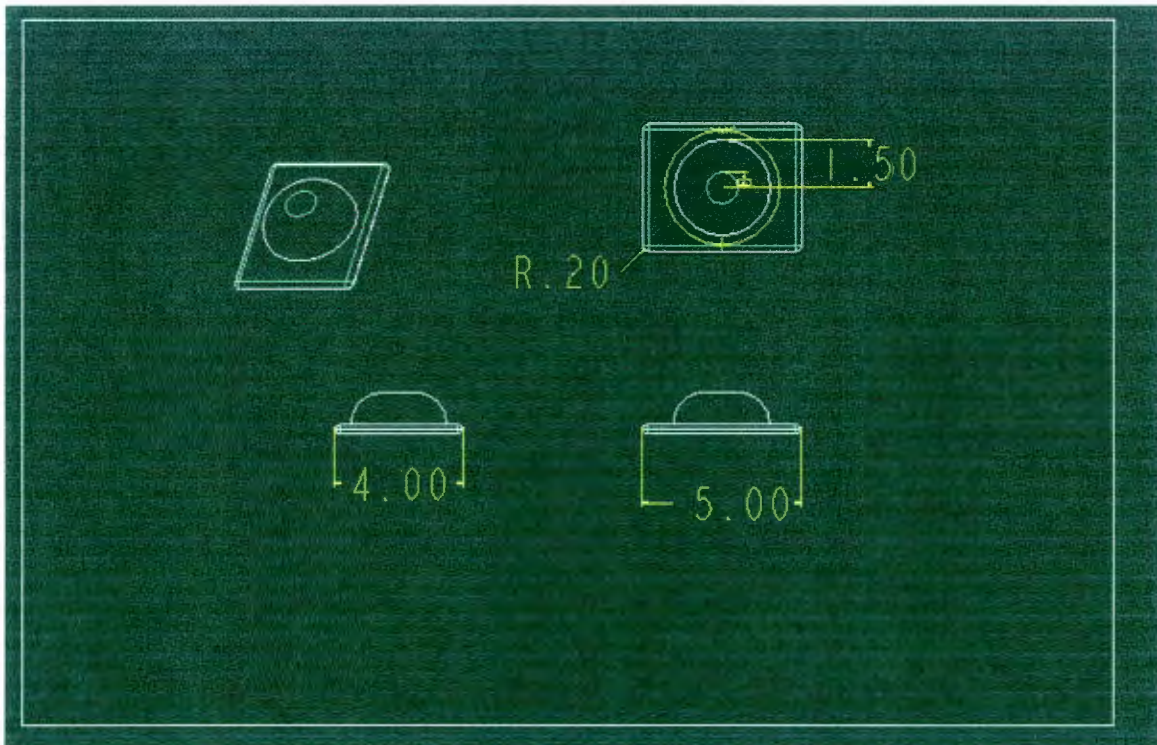
Dimensiones de la muñequera (vista Lateral)



Dimensiones de la muñequera con sujeciones (vista Posterior)

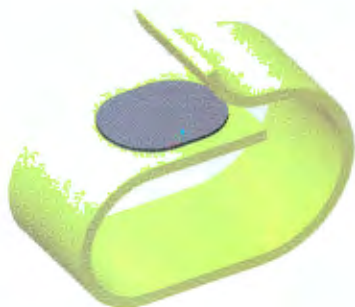


Dimensiones de Ortesis en centímetros



Dimensiones del Blister

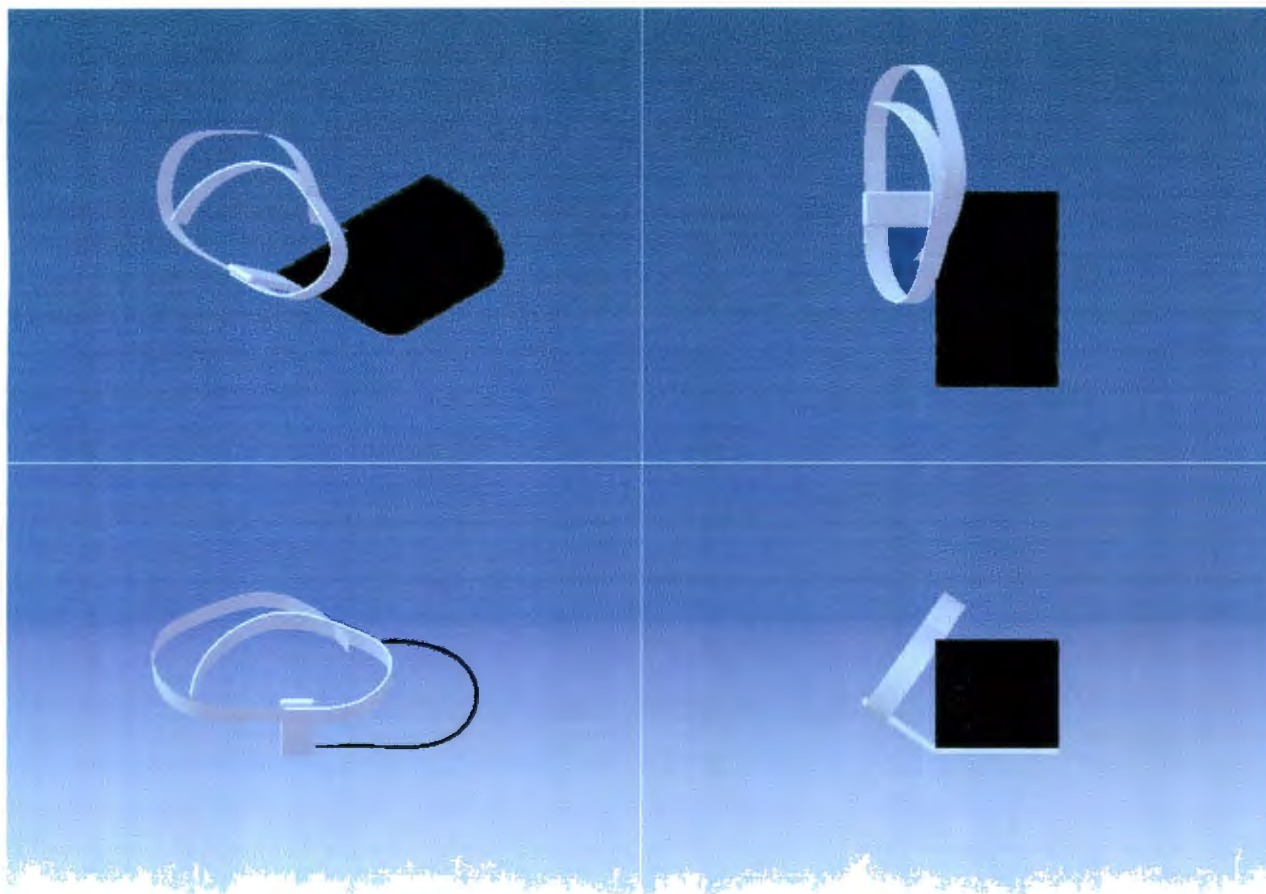
Anexo 3: Piezas e integración final de ortesis



Representación gráfica de la muñequera



Diseño final de ortesis



Diseño final, visto en diferentes posiciones

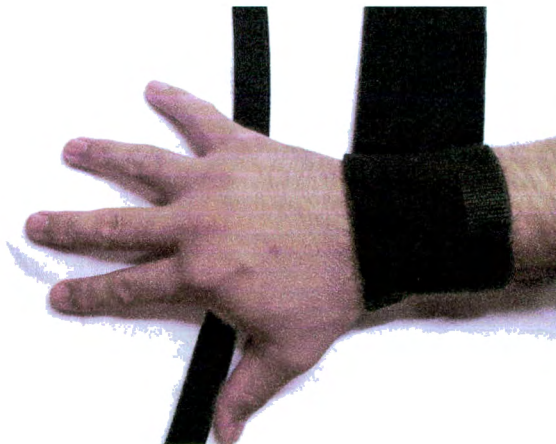
Anexo 4: StoryBoard del uso de la muñequera

La metodología con el cual el paciente usará la ortesis describe un proceso muy sencillo en solo 4 pasos. El objeto de solo tener 4 pasos es hacer fácil su utilización cuidando siempre la practicidad de la ortesis.

Paso 1: Ajustar el alma rígida



Paso 2: Abrochar media cinta



Paso 3: Ajustar broches en cruz



Paso 4: Abrochar segunda mitad de la cinta



Vista FINAL de ortesis en paciente:



Anexo 5: Breve análisis de factibilidad

Análisis del entorno

Clientes

1. ¿Quiénes son y Dónde están?

Son todos aquellos pacientes diagnosticados con el síndrome del túnel del carpo (STC), padecimiento que aumenta considerablemente a nivel mundial. En una primera etapa de este análisis se considerará como universo a los pacientes ubicados en la ciudad de México.

2. Volumen de compra

La cantidad de productos adquiridos por paciente es unitaria, sin embargo dada la incidencia del padecimiento, el número de pacientes se incrementa cada vez mas por lo que la población de clientes potenciales aumenta significativamente, y así el volumen general de compra.

3. ¿Cuántos son?

Callet (1994) considera que el STC afecta del 1% al 3.4% de la población general en México. Considerando los datos del censo nacional de población de INEGI (2008) en 2005, en la ciudad de México habrá aproximadamente 300 mil pacientes del STC.

4. Sensibilidad al precio

La sensibilidad al precio es heterogénea ya que el padecimiento no es característico de una posición económica por lo que dependiendo el segmento de mercado que se seleccionará, es como se deberá manejar este punto. En un inicio se ha planteado el deseo de hacer la ortesis con materiales de bajo costo, esto con el propósito de atacar el segmento de pacientes con bajos recursos económicos, por lo que la sensibilidad al precio será alta.

Conclusión

Se tiene una gran oportunidad de mercado ya que la población usuaria de este tipo de ortesis va en crecimiento, además, se puede fomentar la prevención por lo que el mercado aumenta significativamente, es decir no solo limitado a los pacientes de STC, si no para toda aquella persona que dada su labor diaria es propensa a este padecimiento. Estas ocupaciones son ama de casa, secretarias, odontólogos, en fin toda aquella profesión donde se utilice mucho el movimiento de los dedos y no el muñequero.

Barreras

En este punto, al final de cada subdivisión se establecerá si en cuanto a negocio, representa una oportunidad o una amenaza.

1. Economías de escala

Al aun estar en procesos de selección de materiales para el diseño, no se puede generalizar o hacer una descripción de economía de escala para la muñequera. Una vez seleccionado el material este análisis se hará por medio de la consulta en el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) para saber de que industrias dependerá el modelo funcional, por ejemplo la industria del plástico, del vidrio etc.

Por otro lado, sin saber el análisis de economía de escala, como se mencionó en el análisis del cliente, se espera tener una buena área de oportunidad en venta (dada la magnitud de pacientes con STC existentes tan solo en la ciudad de México), por lo que eventualmente el producto se puede abaratar dependiendo de la semana que este tenga.

2. Valor de marca

Actualmente la casa más referenciada para ortesis e incluso prótesis es Globe Médica, esta empresa tiene ventas tanto a sector público como privado. En el caso de las muñequeras para STC, esta casa son los distribuidores de la mas popular, la llamada Wristimer, la cual tiene como novedad que se permite dar ciertos grados de libertad de movimiento al paciente, haciendo mas tolerable el tener la muñequera por mas tiempo.

La marca Wristimer, actualmente es muy popular y muy referenciada por los médicos especialistas. Por esto el valor de marca representa una amenaza clara, por lo que el diseño deberá presentar innovaciones claras

3. Posicionamiento

El posicionamiento de los competidores principales es muy grande, pues como se mencionó, la muñequera Wristimer es la más referenciada por médicos especialistas. Sin embargo aun cuando es la más referenciada no es la numero uno en ventas debido a su alto costo. Por lo que aun cuando el posicionamiento como tal representa una amenaza, se puede transformar en una oportunidad presentando innovaciones, y materiales de menor costo.

4. Costo de cambio

Ya que hasta este momento solo se presenta el estudio del diseño, el costo de cambio aun es muy bajo, por lo que puede ser despreciable.

5. Curva de aprendizaje

Dada la naturaleza del proyecto, que es una muñequera, la curva de aprendizaje es pequeña, ya que la capacitación que debe tener el usuario (paciente) es pequeña y es la que el médico le da en su consulta, por lo que se asume que el paciente estará muy bien capacitado para su uso.

Por otro lado lo que pudiera influir un poco en la curva es lo que se le debe enseñar al paciente sobre la patología, sin embargo es fácil ya que al ser un padecimiento ocupacional, se le debe mostrar la manera de rediseñar su modo de hacer las cosas para evitar futuras lesiones. La curva de aprendizaje no es alta por lo que representa una oportunidad muy grande para el diseño

6. Políticas Gubernamentales

El primer paso para cumplir con la normatividad mexicana es llenar el formato de inclusión de una ortesis en el control sanitario. Después de tener el registro sanitario, se debe cumplir con la normatividad para el uso y venta de ortesis.

Conclusión

Después de realizar el análisis, el riesgo puede parecer poco, pero no se debe perder de vista la amenaza que se tiene en cuanto al posicionamiento. Por lo demás el análisis de barreras, presenta una gran oportunidad para el diseño de la muñequera.

Sustitutos

En el caso de la ortesis, normalmente para disminuir costos, se hace una ortesis de yeso, lo cual es muy incómodo para el paciente sin embargo es atractivo por el costo tan bajo a diferencia de las muñequeras comerciales. En el instituto Nacional de Rehabilitación, incluso cuentan con un propio "departamento de Mano" donde se hacen ortesis de yeso para pacientes con escasos recursos. Esto es lo que hace del diseño un mayor reto, hacer una ortesis funcional y cómoda capaz de tener un bajo costo.

Competidores

1. ¿Quiénes son?

Principalmente se tiene a Globe Médica, quien distribuye la ortesis mas famosa y referida para el STC. Sin embargo su costo es de 850 pesos lo cual es muy elevado para quienes mas la padecen en México.

Por otro lado también deben de ser consideradas como competencia todas las casas de ortopedia, que venden ortesis, como las de marca conocida:

Bodyworks

Athetico

Bike

Palomares

Estas muñequeras aun cuando no son muy referenciadas como modelo, ya que son genéricas, son muy vendidas por su costo tan competitivo. Por lo que se deben de considerar para atacar mejor su precio.

Crecimiento de la Industria

Respecto a la industria en la que se situará el diseño de la prótesis es el de salud. Se considera que el sector salud es uno de los sectores crecientes y más dinámicos de la económica. Hoy en día la industria de la salud absorbe 9 por ciento del producto mundial, esto son casi 3 millones de millones de dólares en todo el mundo" (Frenk, 2001) Por ejemplo "en la economía más grande del mundo, Estados Unidos, el sector salud es el más grande de la economía, la economía más grande con 14 por ciento del PIB, casi un millón de millones de dólares anuales" (Frenk, 2001). Esto a unido con lo que se comentó anteriormente, tan solo en la ciudad de México se tienen aproximadamente 300 mil pacientes, y creciendo, representa una gran oportunidad para que la muñequera sea bien aceptada.

Esto con respecto al crecimiento de la industria del sector salud, sin embargo la incidencia del síndrome, esta aumentando exponencialmente, tan solo en una década (80's) los eventos reportados a la NIOSH fueron del doble.

Conclusión

Por lo anterior se puede concluir que la industria esta en completo crecimiento, ya que el numero de clientes y usuarios esta en aumento. Por otro lado tomando en cuenta el crecimiento del padecimiento (STC) la necesidad de una muñequera eficiente de buen costo aumenta de manera importante. Por lo tanto se tiene la gran oportunidad de atacar este sector en crecimiento. Ventaja competitiva

Ventaja competitiva

Se considera la principal ventaja competitiva, en cuando a Globe Médica, el posicionamiento que tiene en el mercado, además como su muñequera (Wristimer) es muy famosa en otros países, el posicionamiento que tiene se considera una real amenaza.

Por otro lado las casas de ortopedia, tienen como ventaja competitiva que al ser sus muñequeras genéricas, el costo es muy bajo, por lo que representa una amenaza real y contundente ya que en México culturalmente no se ve la calidad sino el precio.

Conclusión

De manera absoluta esto representaría una amenaza para el diseño de la muñequera, sin embargo dadas las innovaciones terapéutica que se piensan hacer, y la planificación de materiales para hacer su costo mas accesible esta amenaza se puede transformar en una buena oportunidad.

Proveedores

Este punto dentro del análisis del entorno aquí presentado muy importante ya que a partir de los proveedores es como se empiezan a plantear los costos de fabricación, personal, y precio de venta. Sin embargo al no tener aun definido el material para la fabricación se vuelve imposible el considerar a un proveedor.

Conclusión de Análisis del Entorno

Como se pudo observar en el análisis de las diferentes fuerzas del modelo Porter, se obtuvieron muchas oportunidades y pocas amenazas, las cuales se pueden contrarrestar con un buen posicionamiento análisis de costo y presentando innovaciones terapéuticas dentro de la muñequera. Por otro lado la amenaza mas relevante en este análisis fue el posicionamiento de los competidores, sin embargo su posicionamiento se debe a la escasez de innovaciones y de nuevo a su costo.

Por lo que creando una opción que integre innovaciones terapéuticas, comodidad y bajo costo será una excelente opción para los clientes potenciales que cada vez están mas en aumento. Tomando en cuenta en análisis completo del modelo Porter, se concluye de forma relevante que es una buena oportunidad de negocio a crear un diseño de de muñequera para pacientes con STC, y así satisfacer las crecientes necesidades del sector salud.