

E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de
Telecomunicación

Aparato ortésico para la corrección y mejora de hipercifosis e hiperlordosis



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

Trabajo Fin de Grado

Raquel Martínez Hoyos

Juan Ignacio Latorre Biel

Tudela, junio de 2018

upna

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a mi tutor del T.F.G. Juan Ignacio Latorre Biel, la dedicación como profesor en estos años, entrega y motivación que me ha brindado para este proyecto.

Al profesor José Ramon Alfaro López, gracias al cual se pudo realizar la parte de escaneado y por sus enseñanzas en los distintos programas de diseño.

Al técnico de taller Ángel Jaraba por su atención, trabajo y conocimientos en cuanto a impresión 3D y materiales.

A la profesora María Teresa Cisneros Lanuza del grado de Fisioterapia junto con María Patricia Arnedo Martínez a las cuales les quiero agradecer el tiempo dedicado a este proyecto y su ayuda técnica en la parte de ciencias de la salud.

Por último, agradecer en especial a mis familiares, amigos y a mi compañero de clase todos estos años Eduardo Samanes Samanes por la ayuda y el apoyo recibido, sin los cuales no hubiera sido posible este proyecto.

Resumen

La presente memoria del trabajo de fin de estudios se basa en la investigación, trabajo y desarrollo de una ortesis para la espalda. Dicha ortesis está ideada para la corrección de afecciones de la columna vertebral tales como la hipercifosis de la zona dorsal y la hiperlordosis lumbar.

Aproximadamente estas afecciones o una combinación de ellas afectan entre un 10% y un 25% de la población en edad escolar y persisten siendo muy común que se agraven si no son tratadas. Los tratamientos pueden ser desde el ejercicio y la corrección postural para los casos menos graves, tratamiento con una ortesis como en el caso que nos ocupa, siendo este más grave, y, por último para los casos más complejos se recurre a la cirugía.

Esta clase de tratamientos suelen utilizarse entre 8 y 23 horas diarias, por tanto, es de vital importancia la comodidad del usuario, su sencilla colocación y la ligereza.

Además de la creación de una ortesis cómoda y funcional, ponemos de manifiesto un diseño para que el usuario pueda colocarla en el exterior de la ropa si lo desea.

Palabras clave

Hipercifosis, hiperlordosis, columna vertebral, ortesis, aparato ortésico, impresión 3D.

Abstract

The present final degree dissertation describes the research, work, and development of a spinal orthosis. The mentioned orthosis has been conceived for correcting spinal diseases, such as sacral hyperkyphosis and lumbar hyperlordosis.

Around 10 to 25% of the population in school-age suffer one or a combination of these diseases. These illnesses persist and may worsen if they are not treated. Possible medical treatment may range from exercise and posture correction for the least severe cases, treatment with an orthosis, such as it is the more severe case addressed in this dissertation, and surgery for the most complex cases.

This class of treatment is usual from 8 to 23 hours a day; hence, it is very important the comfort of the patient, the easiness of it's placing, and its lightness.

In addition to the creation of a comfortable and functional orthosis, special care has been taken to obtain a design, such that the user can place it in the exterior of the clothes.

Keywords

Hyperkyphosis, hyperlordosis, spine, orthosis, orthotic device, 3D printing.

Índice

1. Contextualización y planteamiento de la necesidad a resolver	7
1.1. Escoliosis: Alteración tridimensional de la columna	11
1.2. Hipercifosis e hiperlordosis: Alteración en el plano sagital de la columna	16
2. Objetivos, especificaciones del producto y normativa aplicable	21
3. Estudio de soluciones alternativas al problema planteado	25
3.1. Alternativas comerciales desarrolladas en el mismo ámbito o sector.....	25
3.2. Alternativas comerciales desarrolladas en otros sectores.....	38
3.3. Materiales utilizados en el sector	50
3.4. Soluciones parciales a subproblemas concretos	54
4. Elección justificada de una solución	57
5. Desarrollo de la solución	62
5.1. Sistema mecánico	62
5.2. Diseño estético	69
5.3. Solución completa por ensamblaje de los diferentes sistemas desarrollados.	71
6. Proceso de fabricación	72
7. Modelo de negocio	76
7.1. Potenciales clientes a los que va dirigido.....	76
7.2. Presupuesto	77
8. Complementos	79
8.1. Instrucciones de uso	79
9. Comprobación de las especificaciones y rediseño si es necesario	82
9.1. Grado de cumplimiento de los objetivos	82

10.	Conclusiones	84
11.	Líneas futuras	85
12.	Bibliografía	86
13.	Anexos	88

1. Contextualización y planteamiento de la necesidad a resolver

La columna vertebral o técnicamente el raquis, es el eje central de nuestro cuerpo. Es una estructura ósea formada por 26 huesos denominados vértebras, las cuales brindan protección a la médula espinal, raíces nerviosas y algunos órganos. Va desde la cabeza a la pelvis proporcionando el soporte necesario estructural para mantener una postura vertical y aportar el dinamismo característico de nuestro cuerpo.

Comenzando por la parte superior, está formada por siete vértebras cervicales, las cuales se situarían en la zona del cuello, seguido de doce vértebras torácicas o dorsales que se encuentran desde la parte inferior del cuello hasta la mitad de la espalda, continuamos con las cinco vértebras lumbares las cuales van de la mitad de la espalda hasta el sacro-coxis y por último de tres a cinco vértebras unidas en la zona del sacro (Anónimo, Wikipedia, 2018).

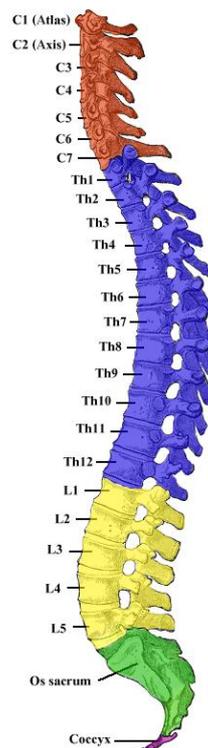


Ilustración 1: Columna vertebral

La zona de la columna que se encuentra en el cuello es conocida como columna cervical, que, como hemos mencionado, consta de siete vértebras, de C1 a C7 (de arriba hacia abajo). Las funciones principales de estas siete vértebras son proteger la médula espinal junto con el tallo cerebral, sostener el cráneo y dotar a la cabeza de movimiento.

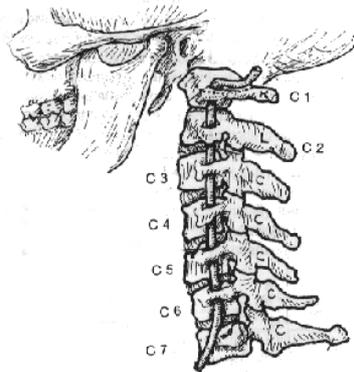


Ilustración 2: Columna cervical

Tras las vértebras cervicales se encuentran las doce vértebras de la llamada columna torácica, que se denominan de T1 a T12. Estas vértebras son más grandes que las de la columna cervical, siendo T1 la más pequeña y T12 la de mayor tamaño. Gracias a la unión con las costillas, la zona torácica y los órganos vitales que se encuentran en ella están más protegidos.



Ilustración 3: Columna torácica

Tras la zona de la columna torácica se encuentra la columna lumbar, con cinco vértebras abreviadas como L1 a L5. Estas cinco vértebras van de menor a mayor tamaño conforme tienen que soportar más peso corporal y son más grandes y anchas que las de la zona cervical y torácica. Tienen un rango de movimiento mayor que el de la columna torácica ya que las articulaciones permiten bastante extensión y flexión pero la rotación es más limitada que en la zona cervical.

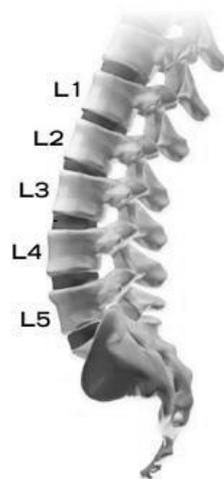


Ilustración 4: Columna lumbar

La zona final se denomina columna sacra y se localiza detrás de la pelvis, está formada por cinco huesos abreviados de S1 a S5 que se fusionan en un triángulo para formar el sacro. Estos cinco huesos se localizan entre los huesos de la cadera, conectando la columna con la pelvis. Debajo del sacro se encuentran otros cinco huesos fusionados para formar el coxis (Carolina, s.f.).

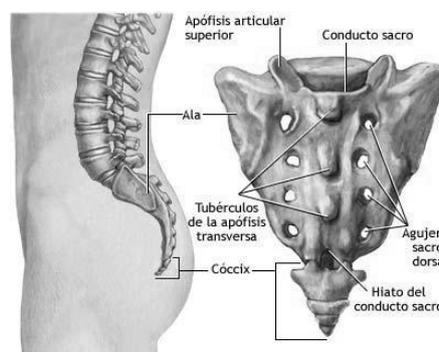


Ilustración 5: Columna sacra

Un elevado porcentaje de personas ha sufrido problemas o dolor de espalda. Este porcentaje se sitúa alrededor de un 85% de la población. La mayoría de los casos se solucionan siguiendo las pautas médicas pertinentes. En otras ocasiones, estos problemas se deben a traumatismos que se pueden ver agravados si se daña la médula espinal. Por otro lado, un gran número de personas presentan afecciones tales como la escoliosis, hipercifosis, hiperlordosis o listesis, que tienen que ver con la alteración de la forma de la columna.

En función de la graduación de la alteración de la columna se plantea el tratamiento. En el caso de las últimas afecciones mencionadas, cuando son menos graves, se solucionan con correcciones posturales e indicaciones de un traumatólogo especializado. Además, se necesita un seguimiento periódico porque tienen tendencia a agravarse. Si esto ocurre, se toman medidas como la colocación de una ortesis, siendo este un aparato correctivo para que la patología no progrese o se corrija. En última instancia, y solo si es necesario, se puede recurrir a la cirugía.

Pasamos a dar una explicación detallada de cada una de estas enfermedades, sus síntomas y el tratamiento que se sigue.

1.1. Escoliosis: Alteración tridimensional de la columna

En nuestra columna vertebral se dan curvas o curvaturas que son normales o fisiológicas, pero en el caso de esta afección, hay ciertas curvas impropias que se observan en la columna vertebral frontalmente.

Entrando en detalle, consiste en una rotación o torsión de la columna, la cual hace una curva en forma de “C” o “S”. Dicha forma dependerá de las curvas que surgen, que pueden ser dos, superior e inferior, y si ambas llevan la misma dirección se daría el primer caso, una curva en forma de “C”. Si por el contrario tenemos direcciones de curvatura opuestas la forma sería como una “S”. En algunos casos más graves, las curvas pueden tener unas formas diferentes a las explicadas más complejas de tratar.

Como ya se ha hablado inicialmente sobre las partes de la espalda, nos encontramos con distintos casos de escoliosis según la zona donde se tiene la curvatura. Las escoliosis cérvico-dorsal son las menos comunes (en la parte superior de la espalda abarcando del cuello hasta mitad de espalda), mientras que la dorsal (mitad de la espalda), lumbar (en la parte inferior de la espalda) o ambas (dorso-lumbar) son más frecuentes.

También nos encontramos con otra clasificación para la escoliosis según la causa. Existe la escoliosis estática, la cual se da si las piernas tienen distinta longitud y la columna se descompensa. La siguiente sería la congénita o idiopática, es decir, la ciencia médica aún no ha descubierto el origen y se desarrolla sin una causa específica, aunque hay muchas teorías. Es la forma más común y el 90% de la escoliosis son idiopáticas.

Causas

Respecto a las causas de la escoliosis, se barajan varias hipótesis como hemos comentado en el punto anterior, pueden ser óseas, musculares o posturales, pero no se descarta según los expertos la posible alteración hormonal, neurológica, de la maloclusión (falta de cierre óseo a nivel vertebral), el bloqueo de una vértebra, o vestibular como causa de esta patología.

Entre otras causas encontradas, podríamos hablar de un aumento desproporcionado en el crecimiento óseo, la parálisis de un lado del cuerpo o un fallo importante en los músculos abdominales o de la espalda que causen inclinación y rotación de la columna, reforzando la posibilidad de que el origen no es un componente de los ligamentos.

En cuanto a las causas posturales, se da principalmente en niños, los cuales suelen tener posturas malas y desequilibradas. Un ejemplo de estas malas posturas sería en el caso de las niñas que escriben con inclinación del tronco, colocan la cabeza a un lado para evitar que el pelo las moleste al escribir, y así, se dan deformaciones en la columna a temprana edad. En algunos casos, este tipo de alteraciones o posturas forzadas pueden ser la causa única o combinada de la escoliosis postural.

Por otro lado, la genética es un factor en el origen de la deformidad.

Síntomas y diagnóstico

Los síntomas leves son difíciles de detectar, es mejor que se haga lo antes posible y a temprana edad, antes de que la curvatura se pronuncie con el crecimiento óseo. En revisiones médicas en el colegio y en las visitas de rutina al pediatra son, por lo general, cuando la curvatura se detecta por primera vez. El signo más común de la escoliosis es la curvatura visible de la columna vertebral en el plano frontal.

También la asimetría que se da entre los hombros o las caderas puede verse en cuanto a que un hombro será superior o anterior al otro o ambas cosas en los casos más graves, ocurre lo mismo con las caderas. Si la curva se acentúa, los síntomas como el dolor de espalda, dolores de cabeza y dificultad para respirar pueden aparecer.

Para diagnosticar la escoliosis, un médico evalúa el grado de inclinación lateral y rotación de las vértebras. En primer lugar, si la escoliosis aparece en edad muy temprana empeora el pronóstico debido a que el crecimiento tiende a aumentar la inclinación de la columna vertebral.

El examen se realiza por parte del médico especializado y será tanto físico como por rayos-x a través de una radiografía de la columna. La evaluación visual se hace pidiendo al paciente que se incline para tocar con sus dedos de las manos los pies sin doblar las rodillas. Con esta simple postura se verá una torsión de la columna vertebral o la rotación de las costillas en forma de la conocida giba.

Los rayos-x sirven para confirmar el diagnóstico y determinar detalladamente el grado de la curvatura de la columna. Para ello hay varios métodos, mayoritariamente se suele utilizar el de Cobb, el cual consiste en trazar dos líneas paralelas al cuerpo vertebral de la parte superior de las vértebras más inclinadas por encima y por debajo del ápice de la curva. La medición de la curvatura con el ángulo de Cobb determinará el tratamiento recomendado.

Efectos de la escoliosis

En cuanto a los principales efectos que tiene la escoliosis, encontramos una cierta deformación anatómica de las vértebras, las costillas, los ligamentos y los discos. Debido a la rotación de la caja torácica, ésta pierde la forma de rectángulo redondeado que tiene normalmente para ser aplastada más en un lado que en el otro. Se suelen formar una o varias gibas fáciles de ver desde el lado convexo.

Por otra parte, las costillas se deforman por la inclinación de las vértebras, en el lado convexo la distancia vertical entre ellas aumenta, mientras que en la parte cóncava disminuye. Las vértebras tienden a asumir forma de cuña, con lo cual, el disco intervertebral es aplastado en el lado cóncavo y se descomprime en el otro lado, entonces el núcleo pulposo del disco es forzado a salir causando dolor y dando síntomas de ciática.

Tratamiento

En principio, la mayoría de las curvas de la columna vertebral inicialmente detectadas son leves y no requieren tratamiento alguno cuando el ángulo de Cobb es menor de 15 grados, simplemente se realizará un seguimiento de la progresión de la curva cada 4 o 6 meses.

El riesgo está durante la edad de crecimiento, es cuando la progresión de la curva tiende a aumentar. La primera línea de tratamiento es generalmente de refuerzo.

Normalmente, a partir de los 20 grados o más es cuando se suele recomendar un tratamiento. Con tratamiento nos referimos tanto a aparatos ortopédicos como a ejercicios o rehabilitación.

En cuanto a los aparatos ortopédicos, hay una gran variedad y son utilizados en función del tipo de curvatura. El propósito principal que tienen es mantener la curvatura para que no empeore a medida que crece la persona y, en algunos casos, corregirla.

Los aparatos ortopédicos pueden ser traumáticos para un niño y, en estos casos, se deben usar 20 horas o más al día. La buena noticia es que el aparato suele ser eficaz si el paciente es compatible con el uso según las instrucciones. A su vez se suelen utilizar técnicas fisioterapéuticas que ayudan a minimizar la tensión de los músculos y los tejidos blandos alrededor de la curvatura.

El corsé, como principal elemento en este trabajo, es una herramienta que combate los signos de escoliosis, pero una vez quitado, la espina dorsal puede empeorar. Por supuesto, hay que fortalecer los músculos correctamente durante el período en que se lleve el corsé mediante rehabilitación, la clave es no perder el tono muscular y no quedarse con un músculo hipotónico e inadecuado cuando se quita.

El corsé tiene que ser utilizado durante el tiempo indicado por el especialista en traumatología que estudie el caso, a menudo hasta el final del crecimiento de un niño, y poco a poco dejarse de usar, para no anular los resultados o empeorar la curvatura.

Resumen de la escoliosis

- La escoliosis es una curvatura anormal de la columna vertebral y se diagnostica a través de la visualización de la curva, así como con los rayos X para medir el ángulo de Cobb.
- Un ángulo de 15 grados o menos por lo general se controla con un tratamiento no específico.
- Para ángulos de la columna mayor de 20 grados, un aparato ortopédico es el tratamiento de elección.
- Si el ángulo de curvatura ha progresado más allá de 40 grados, generalmente se recomienda la cirugía de escoliosis.
- La cirugía consiste en la colocación de tornillos, varillas, alambres, y los injertos de hueso para ayudar a fusionar y reducir al mínimo la curvatura de la columna.

(Junquera, s.f.)

1.2. Hipercifosis e hiperlordosis: Alteración en el plano sagital de la columna

Tanto la hipercifosis como la hiperlordosis son, junto con la escoliosis, las afecciones del raquis más comunes. La escoliosis, como hemos hablado en el punto anterior, sería la curvatura que mostraría una persona frontalmente. En cuanto a la hipercifosis e hiperlordosis, se detectan mirando al individuo que las padece lateralmente. Cada una de las tres enfermedades no son excluyentes de las otras, es decir, se pueden padecer varias al mismo tiempo.

Entrando en detalle, la hipercifosis sería el aumento de la curvatura fisiológica dorsal (desde la parte baja del cuello hasta la mitad de la espalda). Es una desviación que se mide en grados y su origen es desconocido ya que puede haber varios factores.

Las vértebras dorsales adoptan una postura de flexión de forma más o menos acusada y con deformación o no de los cuerpos vertebrales. En el caso de ser un paciente joven, estaríamos hablando de una hipercifosis de carácter juvenil también conocida como enfermedad de Scheuermann.

En cuanto a la hiperlordosis, será también un aumento de la curva fisiológica, pero en este caso en la parte inferior de la espalda, la curva es contraria a la de la cifosis. En esta afección, las vértebras lumbares adoptan la postura de flexión y, en algunos casos, podría darse la deformación de éstas. La hiperlordosis también puede darse de la misma manera en la zona cervical.

Del mismo modo que con la escoliosis, las causas de estas afecciones también se desconocen. Con la edad, el estrés, la falta de ejercicio, sedentarismo o las malas posiciones estas curvas tienden a acentuarse o, en caso contrario, a perderse, incluso a invertirse generando rectificación lumbar o pérdida de curvatura lumbar.

Tipos de curvatura

A grandes rasgos podemos tener 4 tipos de curvatura lumbar:

- Espalda sana: cómo se observa, el individuo tiene las curvas fisiológicas normales en la espalda (hay que comentar que dentro de la normalidad también hay pequeñas desviaciones asintomáticas, que no producen dolor, por lo que no se pueden describir como potencialmente patológicas).
- Hiperlordosis o hipercifosis: en este caso están aumentadas las curvas de la columna. Como se muestra en la imagen 6, el individuo tiene más acentuadas las curvas de la columna vertebral, tanto la dorsal (cifosis) como la lumbar (lordosis).
- Rectificación lumbar: hay una pérdida de curvatura normal y las curvas fisiológicas se rectifican.
- Inversión: se trata de una evolución de la rectificación de la curva lumbar en la que la curvatura se invierte.

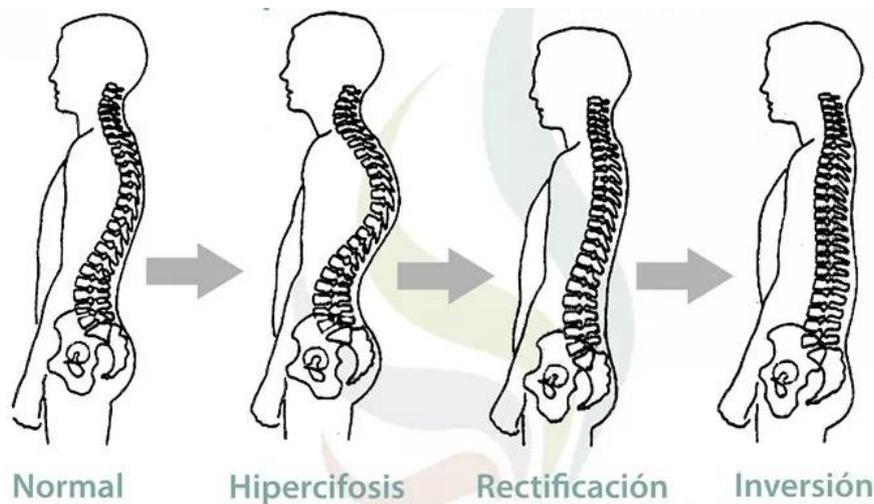


Ilustración 6: Tipos de curvatura

(Junquera, Fisioterapia online, s.f.)

Síntomas

En los casos más favorables de hipercifosis y con una curvatura poco pronunciada no hay sintomatología más allá de la alteración postural y estética, normalmente la columna se adapta a cada curvatura. A lo largo de los años puede haber un desgaste o sufrimiento de las vértebras que suele derivar en dolores y contracturas tanto en la zona dorsal como cervical y lumbar, las cuales sufren por compensación a esa cifosis exagerada. Podría darse en los casos más desfavorables importantes deformaciones en la caja torácica, haciendo que los hombros se desplacen hacia adelante y las costillas dorsales también se deformen.

En cuanto a los síntomas de la hiperlordosis, la curva lumbar se exagera y hará que el estómago se desplace hacia adelante y los glúteos se dirijan hacia arriba. Lateralmente, se ve el cuerpo más arqueado de lo normal, como una “C” invertida en la parte lumbar.

Si la curvatura es pronunciada podría conllevar dolor de espalda lumbar, dolor de cuello, rigidez o limitación de movimiento. La mayoría de las hiperlordosis son flexibles, con lo cual, no suele haber problemas graves, pero si el arco de la espalda está rígido y no desaparece al doblar la espalda hacia adelante, deberá consultarse con el médico.

Comúnmente, la hipercifosis e hiperlordosis no requieren atención médica específica ya que el paciente puede corregir su postura autónomamente, aunque necesitará hacer algunos ejercicios para ayudar a mantener una buena postura.

Si existe dolor o rigidez, un especialista de espalda o un fisioterapeuta pone un tratamiento adecuado, ya que, a veces, estas afecciones pueden ser un signo de un nervio afectado, un disco intervertebral dañado o un excesivo tono muscular lumbar (Castellanos, s.f.).

Tratamiento

Como hemos mencionado anteriormente, en los casos más leves tanto de hipercifosis como de hiperlordosis, simplemente es necesario llevar un seguimiento y tratamiento fisioterapéutico para normalizar la musculatura, se tonifica la musculatura débil y se relaja la hipertónica. En estos casos y, sobre todo, cuando el paciente aún está en crecimiento, es importante hacerle ver el problema y darle unas pautas que debe seguir para que la enfermedad no se agrave.

Si aumenta la curvatura tanto dorsal como lumbar o ambas es importante que el especialista recomiende un tratamiento. Generalmente, y si es posible, no se recurrirá a la cirugía.

Cuando la deformación supera los 40° pero no es demasiado importante, la espalda aún es flexible, y las lesiones vertebrales son discretas, se podrá utilizar una ortesis liviana para evitar la aplicación de tratamiento ortopédico intensivo mediante yesos de enderezamiento y corsé de mantenimiento (Anónimo, s.f.) .

Si los pacientes jóvenes son constantes en el uso de la férula, a menudo existe la corrección de la deformidad en dos años. Normalmente, se usa a partir de 16 horas y hasta 23 horas durante todo un año, y luego por las noches durante dos años. La terapia física también puede ser recomendada para fortalecer la espalda y mejorar la postura.

El corsé tiene que ser mantenido durante el tiempo requerido por el especialista en traumatología que estudie el caso, a menudo hasta el final del crecimiento de un niño, y poco a poco dejarse de usar, para no anular los resultados o empeorar la curvatura.

Cuando el paciente es de edad avanzada o ya se ha desarrollado del todo, un aparato ortopédico puede ser utilizado para apoyar la columna vertebral y aliviar el dolor, pero no va a cambiar la curva (Junquera I. , s.f.).

Tras este repaso de las patologías de la columna mencionadas, se quiere basar este proyecto en la realización de un aparato ortésico para la corrección y mejora de la hipercifosis e hiperlordosis. Éste ha de cumplir con los requisitos funcionales que cumplen los que hay en el mercado actual y ha de ser cómodo y atractivo visualmente. Se quiere realizar a través de la impresión 3D, ya que en el mercado solo existen aparatos impresos en 3D para escoliosis y no para las dos patologías que se quieren tratar.

2. Objetivos, especificaciones del producto y normativa aplicable

Objetivos

El principal objetivo de este trabajo será la realización de una ortesis para las afecciones de la espalda mencionadas anteriormente, la hipercifosis e hiperlordosis. Servirá para sostener la espalda, alinear y corregir deformidades, también para mejorar la función del aparato locomotor.

Este aparato ortésico será un dispositivo mecánico, el cual ejerce fuerzas para ayudar a la corrección de la zona dorsolumbar. De esta forma, su función puede ser expresada en términos de vectores de fuerza, esto es, la dirección, intensidad y duración de las fuerzas aplicadas.

Ha de tener la suficiente resistencia para que no se rompa con el uso o se deforme ya que es un producto que se puede utilizar hasta 23 horas diarias durante 2 años, con lo cual, ha de ser de unos materiales que soporten este desgaste. Este aparato ayuda a mantener una buena postura, pero ha de permitir la movilidad del usuario para que pueda realizar sus actividades diarias, por ello la forma ergonómica se tendrá muy en cuenta en el diseño.

Otro punto importante que se destaca será la ligereza de la ortesis. Es conveniente que no sobrepase los 800 gramos de peso ya que ha de ser llevado bastantes horas al día y, sobre todo, en el caso de pacientes jóvenes o ancianos es primordial ajustar un peso soportable para que pueda ser llevado cómodamente.

A parte de la ligereza, otros puntos importantes son la facilidad de uso y la comodidad. Para los niños y los ancianos, los cuales tienen una movilidad más limitada, necesitaremos que puedan ponerse y quitarse el aparato ortésico fácilmente. Y por supuesto es de vital importancia que sea cómodo para el usuario, ya que, en ocasiones estos aparatos al ser rígidos y ejercer fuerzas pueden molestar cuando pasan ciertas horas y más si se recomienda llevarlos durante la noche.

También ha de ser transpirable, especificación que surge del gran número de horas que ha de ser llevado al día. En los días más calurosos o para personas que transpiran más de lo común, es importante que el material permita este objetivo.

Como uno de los requisitos más interesantes, ya que la mayoría de estos aparatos no lo cumple, se ha decidido que la ortesis sea lo más estética posible e incluso se pueda poner encima de la ropa como un elemento visualmente atractivo. Los aparatos encontrados en el mercado hasta el momento, distan mucho de ser estéticos y se ha planteado una solución en la que, además de ser funcional, tenga un gran peso el diseño, así el usuario podrá sentirse cómodo con su prótesis a la vista.

Normativa

En lo que respecta a la normativa vigente sobre aparatos ortésicos, hemos consultado en primer lugar las normas UNE 111909/90-1, UNE 111909/90-2 y UNE 111909/90-3, que contienen el vocabulario específico para la realización del trabajo.

Para el diseño, ensayo y desarrollo de la ortesis se ha seguido la normativa vigente de la norma UNE-EN ISO 22523.

En primer lugar, disponemos de términos y definiciones específicas como dispositivo ortésico (externo) u ortesis externa, usuario, deformación por flexión, deflexión angular, límite de proporcionalidad, rigidez a la flexión y momento de flexión máximo. Todos y cada uno de los términos están explicados en la norma.

Seguidamente se habla de los requisitos generales y, en primer lugar, de la gestión de riesgos, para lo cual, se realizará un análisis de los mismos, su evaluación y la información postproducción. Habrá que tener en cuenta también prestaciones previstas en cuanto a resistencia y duración de la ortesis además de sus aplicaciones y condiciones de utilización. La resistencia de la ortesis se debe determinar de acuerdo con los rangos adecuados de:

- a) Resistencia a la fatiga, resistencia a carga plana y resistencia límite a la rotura
- b) Se debe especificar los niveles de resistencia apropiados
- c) Condiciones de carga a aplicar en los ensayos

Por otro lado, se habla de los requisitos de los materiales con los que se realiza la ortesis. Se debe procurar que los materiales reduzcan al mínimo el riesgo de propagación de llamas o producción de gases tóxicos además de entregar el dispositivo con una descripción de las precauciones necesarias a tener en cuenta.

Es preciso también atender a los contaminantes y residuos, infecciones y resistencia a la corrosión y a la degradación.

También se deberá investigar la posibilidad de una elevación de temperatura que pueda perjudicar la comodidad del usuario, se debe un procurar un medio de protección para reducir el riesgo al mínimo.

En cuanto a la esterilidad, normalmente las ortesis no se suministran o utilizan en condiciones de esterilidad.

Otro punto a destacar serán los requisitos de diseño, en los cuales se procurará la seguridad de las partes móviles que deben estar provistas de medios de protección para eliminar o reducir el riesgo durante su utilización. Por otro lado, también se procurará la seguridad de las conexiones en caso de que se incorporen a la ortesis.

Por otro lado, es importante también cumplir los requisitos mecánicos en los que se especifican las restricciones de utilización, donde dice que ha de conocerse información de los componentes y si son compatibles entre sí. Además, se concretan los riesgos de tipo mecánico para el tejido que existen debido a las fuerzas sobre los tejidos delicados que pueden ser:

- Necrosis celular a causa de un suministro nutricional y de oxígeno restringido
- Rotura del tejido a causa de sobrecarga mecánica
- Rotura del tejido a causa de fatiga
- Desgastes del tejido a causa de abrasión
- Destrucción celular a causa de coagulación térmica

Por último, en cuanto a lo que respecta a los principios ergonómicos, la ortesis se realizará teniendo en cuenta las necesidades especiales del usuario al que se destinan. Si el dispositivo o alguno de sus componentes ha de ser manipulado por el usuario, deberá ser fácilmente accesible y ergonómicamente practicable.

3. Estudio de soluciones alternativas al problema planteado

3.1. Alternativas comerciales desarrolladas en el mismo ámbito

Dentro de este sector hay varios tipos de aparatos ortésicos muy arraigados en el mercado actual. Estos aparatos son básicamente funcionales y permiten la inmovilización y corrección del raquis, evitando así un cuadro clínico desfavorable con el paso del tiempo y, además, un alivio del dolor y mejor función de la columna vertebral.

En la clasificación hemos dividido en dos grandes grupos, el primero serán las ortesis lumbares, es decir, su lugar de actuación será la zona lumbar o parte baja de la espalda como su nombre indica. El segundo grupo serán las ortesis dorso-lumbares, éstas actúan en las dos zonas de la espalda.

Comenzaremos con el grupo de ortesis lumbares, las cuales dividiremos en flexibles o rígidas. Dentro de las flexibles, tendremos las elásticas o semirrígidas y en las rígidas encontraremos lumbostatos o corsés.

Banda sacroilíaca

Esta ortesis consiste en una pequeña faja que rodea la pelvis. Tiene la función de inmovilizar las articulaciones sacroilíacas y, por tanto, estará indicada en los procesos inflamatorios que afectan a estas articulaciones.



Ilustración 7: Ortesis o banda sacroilíaca

Fajas lumbosacras

Actúa sobre el segmento (L1-S1). Abarca la región lumbar y sacra y por delante el abdomen desde las últimas costillas hasta la sínfisis púbica. Existen distintos modelos que, en función del material con el que se hayan fabricado, producen un efecto inmovilizador más o menos intenso. De menor a mayor tendríamos:

- Faja tubular: es de material textil elástico sin cierre como muestra la ilustración 8.



Ilustración 8: Faja tubular.

- Faja lumbosacra elástica: Tiene mayor consistencia y se encuentra reforzada con varillas metálicas o de plástico para darle más rigidez o con una placa posterior en termoplástico que se moldea sobre el propio paciente como vemos en la ilustración 9.



Ilustración 9: Faja lumbosacra elástica.

- Lumbostato laboral: El cual permite suficiente movilidad para realizar algunos trabajos con cargas mostrados en la ilustración 10 a la vez que alivia los dolores.



Ilustración 10: Lumbostato laboral.

- Cinturón preventivo: En la ilustración 11 se muestra como generalmente es de cuero resistente y se utiliza para la realización de trabajos pesados o deportes donde la columna resulta muy forzada, y así prevenir las lesiones en los últimos segmentos lumbares. Es más corto y no limita tanto la movilidad.



Ilustración 11: Cinturón preventivo.

Fajas dorsolumbares

Actúan sobre el segmento (D8-L5) de la columna cubriendo una zona más amplia de la ésta, llegan por detrás hasta los ángulos inferiores de las escápulas y se complementan con dos cinchas que abrazan los dos hombros por delante. Igualmente, se dispone de:

- Faja dorsolumbar elástica: Reflejada en la ilustración 12.



Ilustración 12: Faja dorsolumbar elástica.

- Faja dorsolumbar semirrígida: En la ilustración 13 vemos como viene reforzada en la zona dorsal. Los tirantes limitan que los hombros se desplacen hacia adelante, evitan que empeore la cifosis y proporcionan contención a la zona dorsal. Además, limitan más la movilidad de la columna que las lumbares.



Ilustración 13: Faja dorsolumbar semirrígida.

Las anteriores ortesis vistas se suelen utilizar en las lumbalgias y lumbociáticas que no ceden con reposo y/o tratamiento médico y en la profilaxis en profesiones o deportes que sobrecargan la columna lumbosacra, aunque hasta el momento no existe evidencia científica que soporte estas afirmaciones.

Por otro lado, comenzaremos con el grupo de las ortesis rígidas y como se ha indicado anteriormente, se diferencian en lumbostatos o corsés. Están fabricadas en tela o lona y reforzadas con materiales más rígidos, como el plástico o el metal.

Lumbostato Knight

Se compone de una estructura rígida posterior y otra flexible anterior. La estructura rígida consta de dos barras horizontales situadas en el sacro, dos barras verticales paralelas a ambos lados de la columna lumbar y dos barras laterales verticales situadas en la línea media axilar como se verá en la ilustración 14. Esta estructura rígida puede ser de plástico o de metal.

La restricción del movimiento se realiza en el segmento vertebral L1-L4, pero no actúa sobre la rotación. Las indicaciones más comunes son en la inmovilización después de laminectomía lumbar y fracturas vertebrales bajas



Ilustración 14: Corsé Knight.

Lumbostato Taylor

Alcanza la columna dorsal mediante la prolongación de las dos barras posteriores del lumbostato Knight y dos cintas que rodean la cara anterior de ambos hombros. En cambio, no dispone de las barras laterales que limitan la movilidad lateral.



Ilustración 15: Lumbostato Taylor.

Lumbostato Knight-Taylor

Será una mezcla de los dos anteriores, como muestra la ilustración 16. Consigue controlar parcialmente la flexión, extensión y flexión lateral, pero no la rotación. Este tipo de lumbostato está indicado en las fracturas de cuerpos vertebrales lumbares y torácicos por debajo de la vértebra D6.



Ilustración 16: Lumbostato Knight-Taylor.

Lumbostato Williams

En este caso se trata de un corsé con dos bandas, una pélvica y otra torácica, y otras dos bandas que las unen verticalmente. Se utiliza poco en la práctica clínica ya que limita la extensión pero no la flexión. Realiza una acción delordosante mediante la presión de la cincha abdominal. Las indicaciones son exclusivamente: espondilolistesis y espondilólisis. No se debe utilizar nunca en las fracturas vertebrales.



Ilustración 17: Lumbostato Williams.

Por otro lado, pasaremos a hablar de los corsés que podemos encontrar en la actualidad.

Marco de Jewett

Está construido en aluminio forrado con material blando. La parte anterior forma una especie de marco (de ahí su nombre) con una zona superior que se apoya en el manubrio esternal, una zona inferior que lo hace en la zona suprapúbica y dos barras laterales que descienden lateralmente por la línea axilar media. Posteriormente consiste en una placa almohadillada que va unida con unas correas a las dos barras verticales como veremos en la ilustración 18. Limita la flexión de la columna entre D6 y L1 y la lateralización pero no la extensión ni rotación.

Está indicado en las fracturas por aplastamiento anterior y en la inmovilización después de la estabilización quirúrgica de fracturas en la columna dorsolumbar.



Ilustración 18: Marco de Jewett.

Marco de hiperextensión cruciforme

Este corsé que vemos en la ilustración 19 es parecido al marco de Jewett, se compone de un apoyo en manubrio esternal unido a un apoyo suprapúbico mediante una pletina graduable en longitud y una placa posterior que se une a la pletina anterior por unas correas graduables. Biomecánicamente este corsé actúa mediante un sistema de tres fuerzas que provocan una hiperextensión de la columna. Limita la flexión entre las vértebras D6 y L1, pero no las rotaciones ni el movimiento lateral.

Está indicado en las fracturas del cuerpo vertebral lumbar entre D6 y L1 y en cifosis de pacientes con osteoporosis y está contraindicado en las fracturas que afectan a los tres pilares de la columna y en las que son por compresión en la osteoporosis.



Ilustración 19: Marco de hiperextensión cruciforme

Corsé de sostén, body jacket o TSLO

En el caso de este corsé, su fabricación requiere la toma de un molde de escayola y la posterior rectificación del positivo obtenido. Se fabrica en polietileno de 4 mm y la abertura suele hacerse por delante como ilustra la imagen 20. Limita todos los movimientos de la columna mucho más que los corsés anteriores. Si su función es corregir la exageración de la curva dorsal se toma el molde en posición delordosada y se aumenta la presión abdominal.

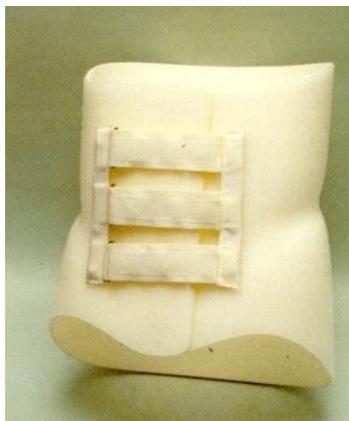


Ilustración 20: Corsé de sostén.

Este tipo de corsés estaría indicado para: aplastamientos vertebrales por osteoporosis y metástasis, post-intervención quirúrgica post-fractura, escoliosis paralíticas, fracturas inestables entre las vértebras D3- L3, espondilodiscitis infecciosa y especialmente indicado en “neurológicos” (Cisneros, 2017).

Milwaukee

Este corsé es bastante conocido y ha sido el más utilizado para el problema de la escoliosis desde su creación en 1946. Está confeccionado en materiales rígidos y es a medida del paciente, como comprobaremos en la ilustración 21. Se utiliza de modo permanente hasta que finaliza el crecimiento para tratar la escoliosis.



Ilustración 21: Corsé Milwaukee

Boston

Esta ortesis es de forma encapsulada y basa su eficacia en las fuerzas laterales de compresión que ejerce en la espalda. Está especialmente indicada para escoliosis dorsales bajas y lumbares con curvas de entre 20° y 40° durante la edad del crecimiento.



Ilustración 22: Corsé Boston

Corsé activo de hipercorrección (CAEM)

Este aparato ortésico es muy similar al corsé Boston pero se utiliza preferentemente durante la noche.



Ilustración 23: Corsé CAEM

Lyones

Este aparato ortésico se compone de dos placas metálicas en la parte frontal y posterior, a las cuales se les acoplan las placas correctoras. Está indicado para escoliosis con varias curvas y a partir de 30°.



Ilustración 24: Corsé Lyones

Chêneau

Este corsé utilizado para la escoliosis es uno de los que mejor aplican las técnicas tridimensionales para la corrección de la espalda. A través de la respiración es como el usuario realiza los ejercicios que corrigen la columna, su forma es bastante compleja ya que consta de 46 zonas, cada una con un propósito correctivo. Su fabricación es única para cada paciente.



Ilustración 25: Corsé Chêneau

Michel

El aparato ortésico de este tipo es muy similar al Lyones, lleva también las dos bandas metálicas a las que se unen las placas adaptadas a las curvas de la espalda, pero tiene tres puntos de apoyo, la pelvis, los lumbares y el tórax (Anónimo, 2016).



Ilustración 26: Corsé Michel

Estas son las ortesis más populares en el mercado actual ortopédico para los distintos problemas de espalda. No son las únicas que se pueden encontrar ya que cada marca puede hacer variaciones según su modo de fabricación.

Por último, se quiere mostrar en la ilustración 27 un tipo de ortesis que ha servido en gran medida de inspiración para la creación de este proyecto. Hablamos del modelo Align de la casa UNYQ. Esta ortesis corrige la escoliosis, se imprime en 3D y está hecha de ABS (UNYQ, s.f.).



Ilustración 27: Ortesis Align de la casa UNYQ.

3.2. Alternativas comerciales desarrolladas en otros sectores

En el primer apartado nos hemos centrado en las ortesis de columna, pero en el mercado actual existen otros tipos de ortesis como las de miembros superiores o inferiores. Es decir, también se pueden colocar estos aparatos tanto en brazos como en piernas y desempeñan distintas funciones.

Pueden servir, como en el caso de la columna, de forma activa para corregir ciertas deformidades en la zona colocada o de forma pasiva para que no se agraven las enfermedades detectadas. También se pueden utilizar como método preventivo a estas deformidades o para inmovilizar una articulación o segmento corporal.

Entrando en detalle, se pueden clasificar estas ortesis en cuatro grandes grupos:

- Estabilizadoras o de soporte (estáticas): Con este tipo de aparatos se controla un segmento o todo un miembro estabilizando las articulaciones.



Ilustración 28: Ortesis estabilizadoras.

- Protectoras (estáticas): Brindan protección, descarga o alineación en caso de lesión de un miembro.



Ilustración 29: Ortesis protectoras.

- Funcionales (dinámicas): Poseen un elemento activo que podría ser un muelle, un elástico, resorte, dispositivo eléctrico o hidráulico, para realizar una función específica en un sector del miembro afectado o en el total del miembro.



Ilustración 30: Ortesis funcionales.

- Correctoras (estáticas y dinámicas): La deformidad que se ha producido en un miembro es corregida durante el uso de la ortesis y, en cuanto es retirada, ésta vuelve a su estado inicial.



Ilustración 31: Ortesis correctoras.

Como hemos mencionado anteriormente, aparte de las ortesis de columna, existen las de miembros superiores e inferiores. Comenzaremos describiendo las de miembros superiores.

Según la localización, podemos encontrar las de hombro, codo, antebrazo, muñeca, mano, dedos o una mezcla de dos o más segmentos. Dentro de los aparatos ortésicos de hombro encontramos:

- Aeroplano (airplane splint): Se trata de una ortesis de bajo peso realizada normalmente de plástico o aluminio. Es del tipo funcional y actúa sobre el hombro. Se suele utilizar en lesiones, luxaciones, fracturas del húmero o post operatorios de esta zona.



Ilustración 32: Ortesis aeroplano.

- Arnés en 8 o brace clavicular: Este dispositivo se utiliza para restringir el movimiento en fracturas claviculares y gracias a él, los huesos vuelven a su estado óptimo y se regeneran los tejidos correctamente.



Ilustración 33: Arnés en ocho.

- Cabestrillo (Shoulder sling): Este aparato se utiliza para soportar el peso del brazo tras ser escayolado, restringir movimientos que puedan producir dolor o deformación o proveer de soporte en caso de ser necesario en esa zona. Está dotado de un mando antebraquial y una banda de sujeción lateral que se ajusta gradualmente. En caso de ser necesario, cuenta con accesorios para un mejor posicionamiento y fijación (Robles, 2013).



Ilustración 34: Cabestrillo.

- Cabestrillo para hemipléjicos (Hemiplegic arm cuff/sling): El siguiente aparato ortésico consta de una abrazadera o manguito para el húmero con un sistema de suspensión similar al “arnés en ocho”. Se utiliza para la inmovilización de la zona cuando se trata de un hombro hemipléjico ayudando a reducir el dolor y evitar luxaciones.



Ilustración 35: Cabestrillo para hemipléjicos.

Dentro de las ortesis de miembro superior también encontramos las ortesis de codo para los problemas en esta zona:

- Ortesis de control de codo: Este tipo de aparatos ortésicos procuran la estabilidad del codo, la rotación del antebrazo y limitan el ROM de flexión y extensión de la zona. Se utilizan para curar la epicondilitis (conocida como codo de tenista, es la inflamación de los tendones del codo), fracturas y postoperatorios de la cirugía del codo.



Ilustración 36: Ortesis de control de codo.

- Straps epicondiliares: Es un tipo de aparato ortésico que se aplica circunferencialmente en el antebrazo cerca del epicóndilo y se utilizan para reducir la inflamación de la zona y minimizar el dolor.



Ilustración 37: Strap epicondilar.

Como hemos mencionado anteriormente, también hay ortesis para varias zonas de los miembros superiores, como en este caso, que describiremos las de antebrazo, muñeca y mano.

Se diferencian entre palmar, dorsal o circunferencial y pueden extenderse desde la punta de los dedos hasta más de la mitad del antebrazo. Este tipo de aparatos se utilizan para pacientes con tendinitis y procuran la inmovilización de la zona, reparación de tendones, nervios o fracturas.

Se suelen utilizar:

- Ortesis de reposo funcional



Ilustración 38: Ortesis de reposo funcional.

- Ortesis estática de mano



Ilustración 39: Ortesis estática de mano.

- Ortesis para quemados



Ilustración 40: Ortesis para quemados.

- Ortesis de descarga de peso



Ilustración 41: Ortesis de descarga de peso.

- Ortesis de reposo de mano



Ilustración 42: Ortesis de reposo de mano.

En cuanto a las zonas de antebrazo y muñeca también existen varios aparatos ortésicos que pueden ser palmares o dorsales. La muñeca ha de estar entre 15° y 30° de flexión dorsal (respecto al plano del brazo extendido) excepto para ciertas afecciones que necesitan que la muñeca esté en posición neutral para no oprimir ciertos nervios.

Los tipos de ortesis que se utilizan en estos casos son:

- Ortesis de muñeca de tipo cock-up



Ilustración 43: Ortesis de muñeca cock-up.

- Ortesis de extensión de muñeca



Ilustración 44: Ortesis de extensión de muñeca.

- Ortesis de neuropatía cubital: Se utilizan para inmovilización en caso de esguince de muñeca, post-operatorios de muñeca o artrosis.



Ilustración 45: Ortesis de neuropatía cubital.

En el caso de la mano, vamos a clasificar los tipos de ortesis por estáticas o dinámicas.

Por tanto, las ortesis estáticas se utilizan para inmovilizar, prevenir o proteger contracturas y roturas. Encontramos los siguientes tipos de aparatos:

- Ortesis IFP (articulación interfalángica proximal): Que se utiliza para inmovilizar las deformidades en hiperflexión de la articulación IFP o para prevenir la hiperextensión de la articulación IFP en deformidades, ambas afecciones se ven en pacientes con artrosis.



Ilustración 46: Ortesis IFP.

- Ortesis IFD (articulación interfalángica decimal): También utilizada para inmovilizar las articulaciones IFD y en el caso de reparación de tendones extensores o ligamentos colaterales.



Ilustración 47: Ortesis IFD.

- Ortesis MCF (articulación metacarpofalángica): En este caso su función es mantener las falanges distales en posición funcional y prevenir la hiperextensión de las articulaciones MCF. Estos aparatos pueden ser utilizados en pacientes con quemaduras, esclerodermia o lesiones nerviosas.



Ilustración 48: Ortesis MCF.

- Ortesis estática del pulgar: Este dispositivo es utilizado para estabilizar las articulaciones carpometacarpianas, interfalángicas o metacarpofalángicas en pacientes con traumatismos o artrosis, también en aquellos con debilidad muscular, proporcionando un “soporte” para el pulgar.



Ilustración 49: Ortesis estática del pulgar.

Pasamos a ver el tipo de ortesis dinámicas de esta zona que sirven para mantener la estabilidad y dotan de fuerzas correctivas dinámicas. Dichos aparatos se pueden utilizar como soportes, resortes u otros sistemas con la finalidad de proveer a la zona de asistencia dinámica.

Para este caso existe:

- Ortesis dinámica interfalángica (ODIF): La cual se utiliza para asistir en la extensión de la articulación interfalángica manteniendo la posición de las otras articulaciones de la mano (Arce, 2015).

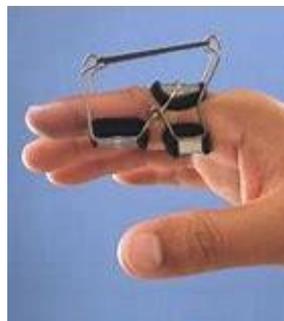


Ilustración 50: Ortesis dinámica interfalángica.

3.3. Materiales utilizados en el sector

En cuanto a los materiales utilizados dentro de este sector cabe destacar que hay varios grupos: los materiales utilizados desde los inicios de las ortesis, que se han ido mejorando poco a poco como sería el caso de los metales, otros que han caído en desuso, como la madera, y materiales realmente novedosos para este sector, como varios plásticos que más tarde comentaremos o la fibra de carbono implantada hace pocos años.

Comenzaremos con un grupo de materiales clásicos dentro del sector, en este caso son los metales, que llevan implantados muchos años. Éstos son rígidos y normalmente encontramos acero, aluminio y titanio puros o aleados para conseguir ciertas propiedades. Es un grupo de materiales cuya característica principal es la alta resistencia y la fuerza que ejercen en el cuerpo del usuario para corregir.

El acero es un material que está cayendo en desuso dentro de la ortopedia debido a su peso, pero tiene una gran resistencia al uso y la capacidad de ser soldado. Se utiliza en ortesis de marcha y componentes protésicos. En cuanto al acero inoxidable que se utiliza en el sector, será de gran pureza mezclado con cromo, biocompatible y resistente a la corrosión. También es muy resistente al uso y posible de soldar, pero, al igual que el acero, es un material pesado y se suele utilizar para lo mismo.

Otro material típico del sector ortésico es el aluminio, el cual se puede encontrar puro o aleado con cobre, silicio y magnesio para formar el duraluminio. Este material es ligero, elástico y fácil de trabajar. En contrapunto, se rompe con el uso y es complejo de soldar. Se suele utilizar para ortesis de marcha, corsés y férulas.

El último material metálico que encontramos es titanio, un metal más ligero que el aluminio y muy resistente a la corrosión. Se considera biocompatible y con gran resistencia mecánica, aunque es difícil de mecanizar y su precio es elevado. Se utiliza para ortesis de marcha, componentes protésicos, endoprótesis y osteosíntesis.

Por otro lado, encontramos como materiales bastante utilizados en el sector los plásticos, en los cuales la principal materia prima utilizada es el polímero plástico termo-moldeable que suele ser poliestireno o polipropileno.

Dentro de los termoplásticos encontramos el polietileno, el cual se obtiene por polimerización de adición del etileno. Puede ser tanto de alta densidad como de baja y, a medida que aumenta la densidad, mayor será la temperatura de fusión, la resistencia a la tracción y la dureza. En contrapunto, al aumentar la densidad disminuye la resistencia al impacto y al estrés. Este material se moldea en el horno entre 120° y 180° mediante la técnica del vacío y como ventajas encontramos que es ligero, fácil de retocar, lavable y barato, pero en cuanto a las desventajas, al ser impermeable aumenta la sudoración, son frágiles a la fatiga que produce el uso y pueden dar alergia en algunos pacientes. Su uso principal se da en férulas, corsés y plantillas.

También tenemos el polietileno que se moldea a baja temperatura, unos 80°. Es semirrígido y se puede encontrar en varios colores y espesores, también perforado o sin perforar y permite el mecanizado. Esto conlleva una confección rápida, además es fácil de retocar, se puede lavar y si lo calentamos de nuevo vuelve a su forma original. Como desventajas encontramos su elevado coste y a partir de los 80° se deformará, por lo que no puede acercarse a una fuente de calor.

En cuanto al polipropileno, también es un termoplástico que se obtiene por polimerización de adición del propileno. Éste es el más ligero, resistente a la tracción, a la rigidez y a la dureza, esterilizable por su elevado punto de fusión y se moldea en el horno entre 120° y 180° mediante la técnica del vacío. También es lavable, fácil de retocar y barato, pero, como desventaja, los cantos son difíciles de pulir, no es transpirable y puede producir alergia en algunos pacientes. En cuanto a las aplicaciones, se puede utilizar para ortesis de marcha y corsés.

También se suele utilizar como material el plastazote o espuma de polietileno de baja densidad con elevada pureza y expansión por inyección de nitrógeno a presión. Este material se puede presentar en diversos colores, también se puede perforar, moldear con calor o utilizar sin calentar a modo de almohadilla.

Entre sus ventajas se encuentra su alta flexibilidad, resistencia a la fatiga, amortigua bien frente a los impactos, es fácil de trabajar, apenas absorbe la humedad y se puede lavar de forma fácil. Como principales aplicaciones de este material encontramos plantillas y acolchados de férulas, aparatos, corsés, etc.

Otro tipo de materiales utilizados para los aparatos ortésicos son los termorígidos o compuestos. Este tipo de materiales no hace tanto que se utilizan en este sector, a diferencia de los metales.

En primer lugar, tenemos las resinas de poliéster, que se forman por la polimerización del éster, las cuales están dotadas de una gran resistencia mecánica, buena compactación, densas y permiten buena adaptación a las formas del cuerpo a bajas temperaturas, es fusionable con ella misma u otros materiales y se corta con facilidad. Se puede variar su dureza dependiendo de las capas de resina que pongamos pero no son tan resistentes como el polipropileno. Vendría a utilizarse en plantillas de uso diario pero no en aparatos que requieran gran dureza.

Por otro lado, encontramos tanto la fibra de carbono como la fibra de vidrio, ambos materiales rígidos y ligeros. La fibra de vidrio proporciona buena resistencia química, un peso ligero, es más económica que la fibra de carbono, resistente a la tracción y difícilmente desgarrable, pero como desventaja, con el tiempo tiende a reducir su tamaño y es difícil de reparar. La fibra de carbono por su parte es resistente a la tracción también, tiene baja expansión térmica, resiste a la corrosión y su durabilidad es excepcional. En contrapunto, el mecanizado puede crear áreas débiles y hacer que se agriete el material y el coste es elevado.

Para finalizar, vamos a hablar de los dos materiales blandos más utilizados en el sector, estos son la silicona y el neopreno.

Por un lado hablaremos de la silicona, siendo ésta un elastómero transparente o pigmentado y se presenta en estado líquido para su posterior modelado. Al ser un material blando es muy buen amortiguador de impactos, tiene buen tacto con la piel y adherencia a ésta, así como lavable. Como inconvenientes principales, encontramos alergia en algunos usuarios, no es transpirable, bastante frágil y según la cantidad su coste es elevado. Entre sus principales aplicaciones encontramos los encajes blandos, plantillas, rodilleras, alineadores de dedos y algunas impregnaciones en otros materiales como punto de adherencia.

Como último material y bastante utilizado, encontramos el neopreno, el cual es un tipo de tejido aislante que ayuda a mantener el calor corporal y aísla del frío. Las fibras son de un polímero elastómero llamado policloropreno y pueden estar mezcladas con algodón o nylon. Su elasticidad es uniforme y, como hemos comentado, ayuda a mantener el calor corporal, no limitan el movimiento gracias a su elasticidad. Si lo que queremos es una ortesis rígida este material no es apto. El neopreno se utiliza para fajas, rodilleras, coderas, tobilleras, muñequeras, como elemento de sujeción de una ortesis de otro material, etc. (Del Valle Ponsati & Corrao, s.f.) (Toscano, 2010).

3.4. Soluciones parciales a subproblemas concretos

Tras el estudio realizado de las ortesis de espalda que hay en el mercado actual junto con las de miembros superiores e inferiores y los materiales generalmente utilizados en el sector, se plantean los típicos problemas que tienen las soluciones actuales. En primer lugar, las ortesis metálicas suelen ser más pesadas que las realizadas con termo plásticos o fibra de carbono/vidrio, pero son más baratas, por lo que se propone que la ortesis a diseñar tenga ambos materiales, aunque metales en menor medida para que sea más ligera. La mayor parte del aparato ortésico se realiza con estos materiales más ligeros y solo los cierres o los puntos de unión llevarán metales.

Otro problema que se encuentra en esta clase de aparatos son los roces al contacto con la piel, los cuales aparte de molestias pueden producir alergias según el material que utilicemos, necrosis celular o rotura del tejido. Para evitar las molestias se acolchará la ortesis en la cara que tiene contacto con la piel, se realizará con un material blando además de hipoalergénico para que tampoco produzca alergias, este podría ser de neopreno, alguna clase de tela sintética transpirable y acolchada o algún plástico de baja densidad.

Tipo de recubrimientos

Si colocamos recubrimientos de neopreno en la parte interior de la ortesis también ayudaría a la conductividad térmica y como es un material ligero no aportaría mucho peso al diseño. Por otro lado, tenemos el plástico de baja densidad, un material que tampoco aportaría apenas peso al diseño y se pueden conseguir unos espesores mayores que con el neopreno de forma más económica. El aparato quedaría bien acolchado para la comodidad del usuario.

En lo que respecta a los cierres se podría decir que hay ciertos corsés ajustables para ir corrigiendo la curvatura de la espalda progresivamente o simplemente para poder quitar y poner la ortesis. Normalmente se realizan de tela sintética a la que se le coloca velcro, el cual tiene que resistir las fuerzas a las que está sometido además del desgaste que ya hemos mencionado anteriormente. Es imprescindible que la ortesis a diseñar contenga el menor número de cierres o elementos que puedan añadir peso además de incomodar al usuario, pero a la vez queremos que se pueda colocar y quitar de forma sencilla y cómoda (Anónimo, Ottobock, s.f.).



Ilustración 51: Cierres de velcro clásicos.

Otras soluciones más novedosas para los cierres serían las propuestas a continuación, ya que aportan mayor resistencia pero también será un componente que pesa más que las simples tiras de velcro. Hablamos de los productos llamados Orthofit Lacer – Boa y Click Fit Strap:

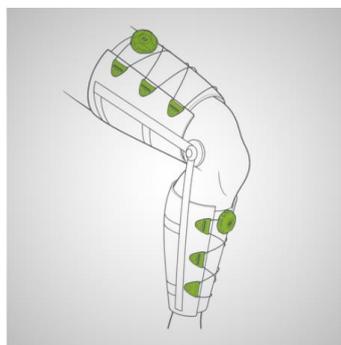


Ilustración 52: Orthofit Lacer – Boa.

Este tipo de cierre consigue un mayor ajuste adaptado a las necesidades del usuario siendo fácilmente ajustable y preciso. Es micro-ajustable, por lo que se adapta a los cambios de volumen a lo largo del día y está pensado para todo tipo de ortesis (Anónimo, EMO, s.f.).



Ilustración 53: Click Fit Strap.

Este tipo de ajuste también añade más peso al aparato pero es de mayor precisión, sencillo de colocar por el usuario puesto que utiliza un clip para cerrarse (Anónimo, EMO, s.f.).

Otro gran problema de alguno de los corsés actuales es la transpirabilidad, dado que si son macizos de materiales plásticos o metálicos impiden la transpiración. La alternativa podría ser la realización de pequeñas perforaciones homogéneamente en la ortesis o en los puntos que no requieran ser tan robustos para permitir la transpiración además de aligerar el producto.



Ilustración 54: A la izquierda tenemos una ortesis que permite la transpiración gracias a sus perforaciones y a la derecha una homogénea que la dificulta.

4. Elección justificada de una solución

Para la elección de una solución, se plantea el problema de una exageración de la curva dorsal y lumbar de la espalda denominadas hipercifosis e hiperlordosis. La mayor parte de los casos se detectan a temprana edad, con lo cual se propone una ortesis que consiga una mejora en la columna del usuario.

Se ha seleccionado el método de impresión 3D porque dentro del mercado actual no existe una ortesis con las características que luego se mencionarán para estas patologías, en cambio para la escoliosis sí. Las ortesis que podemos encontrar dentro del sector no suelen estar impresas en 3D, llevan materiales pesados, distan bastante de ser cómodas y además no son estéticamente atractivas para los usuarios.

Con este aparato ortésico queremos conseguir en los usuarios más jóvenes (edad de crecimiento) que las curvaturas no se pronuncien, su columna mejore y recuerden la postura correcta cuando el aparato sea retirado. Para los usuarios diagnosticados más tarde y con edad posterior al crecimiento, es difícil hablar de mejora, pero la ortesis podrá evitar que la curvatura se agrave y también proporcionará el recuerdo de una buena postura tras ser retirada gracias a la rigidez de los plásticos en los que se puede construir. A continuación, se muestra cómo se realiza el diagnóstico para la posterior elección justificada de una solución.

Para proporcionar a la columna la posición deseada es necesario la aplicación de ciertas fuerzas mediante la ortesis como mostraremos a continuación:

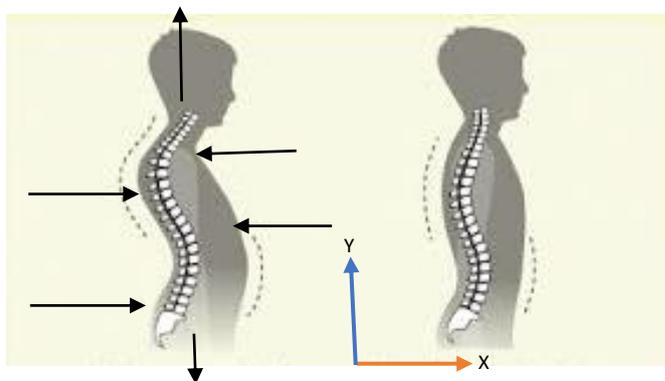


Ilustración 55: Fuerzas correctoras que ejerce la ortesis

Estas fuerzas que se muestran tanto en el eje X como en el Y conseguirán proporcionar la postura correcta de la columna. Para ello, la ortesis se compondrá de un aro en la parte de la cadera, otro bajo el pecho, sujeciones en ambos hombros y la placa correctora que recorre la columna.

En la consulta médica se realizará un estudio del usuario, normalmente cuando se detectan este tipo de patologías se derivan al traumatólogo del raquis. En un principio se realizan radiografías para poder ver claramente la columna y se hacen una serie de pruebas con los instrumentos que mostraremos a continuación.

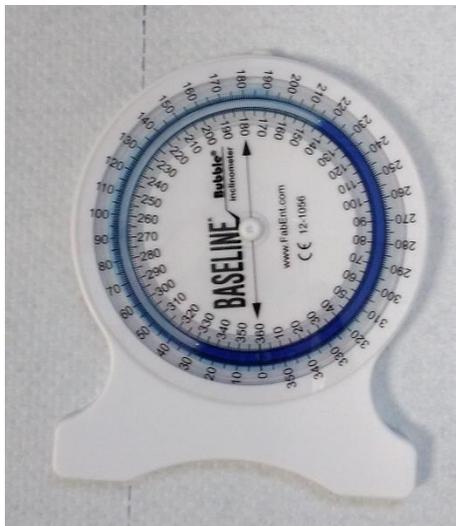


Ilustración 56: Inclinómetro.



Ilustración 57: Test de inclinómetro.

Este aparato que muestran las ilustraciones 56 y 57 se coloca en la parte superior de la espalda, donde comenzaría la curva dorsal bajo las cervicales, y se colocaría el nivel indicado. Luego se coloca con la primera referencia a mitad de espalda, donde acaba dicha curva, y vemos los grados que indica, así tendremos los grados de curvatura y si hay una exageración en ella. Para la zona lumbar realizaremos la misma operación, con lo cual tendremos la curvatura en ángulos de ambas curvas.

Los valores que serían correctos para una espalda sana serán 40° en la curva dorsal y 30° en la lumbar.

Otro método, que es uno de los más comunes, es el estudio de las flechas sagitales. En este caso se utiliza una plomada atada con una cuerda como muestra la ilustración 58. El extremo de la cuerda se sujeta en la parte posterior de la cabeza, por encima de la nuca, y se deja caer la plomada teniendo una línea recta. Gracias a una regla o cartabón se mide en centímetros la distancia a nuestro cuerpo en la zona de máxima curvatura del cuello, la de la zona dorsal, la de la zona lumbar y por último a la altura del sacro.

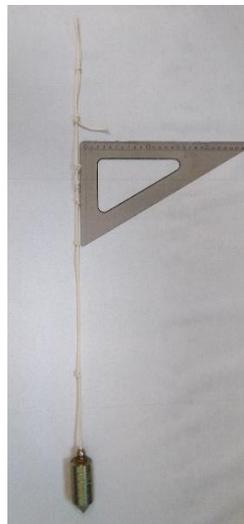


Ilustración 58: Aparatos para el test de flechas sagitales.

Los resultados que entrarían dentro de los rangos de una espalda sana serán 40-0-30-0. En la ilustración 59 se muestran exactamente los puntos de medida de este test (Cisneros, 2017).

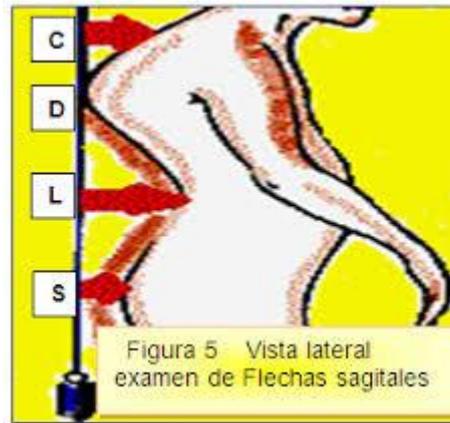


Ilustración 59: Posición de medida del test de flechas sagitales.

A partir del estudio de la columna mostrado se propone que la ortesis ha de corregir o mejorar las curvas, para ello se realizan las correcciones de dichas curvas desde el diseño y el aparato recrea la posición que deberá adoptar la columna.

También, además de ser funcional y pretender corregir estas curvas, permite el movimiento y es resistente gracias al material que se utilizará, que puede ser tanto poliamida como ABS.

Para los usuarios de menor edad, es necesario que el aparato no les dificulte los movimientos ni les impida realizar sus actividades diarias, entonces algunas ortesis dificultan esto, siendo un componente psicológico negativo. El hecho de ser utilizado durante largos periodos de tiempo plantea la necesidad de que el material sea lo más resistente posible y no se degrade como hemos apuntado anteriormente.

Para cerrar la ortesis se ha elegido la opción de los velcros, tanto en el aro superior como en el inferior. Estos elementos apenas aportan peso y resisten a las fuerzas a las que son sometidos.

En cuanto a la colocación, se ha planteado que sea sencilla, y para ello la ortesis está provista de dos bisagras, una en el aro de debajo del pecho y otra en el aro de la cadera, quedando así completamente abierta para que el paciente se la coloque fácilmente y luego pueda cerrarla con los velcros.

Otro requisito es la comodidad del usuario, la cual se conseguirá gracias al recubrimiento de espuma de baja densidad de la cara interior que está en contacto con la piel. Apenas produce un aumento de peso en la ortesis y evita roces de la piel con el material duro, permitiendo también una mejor adaptación a la forma del cuerpo.

Otra de las principales mejoras en cuanto a comodidad es la de los tirantes. La mayoría de los aparatos ortésicos encontrados en el mercado llevan tirantes que producen bastantes rozaduras o molestias en las partes cercanas a la axila. La propuesta que se realiza es un tirante rígido que llegue hasta mitad de pecho sin cerrarse. De esta manera, se consigue que las fuerzas correctivas no se vean afectadas y evitamos las molestias mencionadas.

Como se ha indicado anteriormente, la mayor parte de los usuarios son jóvenes de temprana edad. Se realizará un diseño lo más estético posible para que se pueda lucir la ortesis exteriormente por encima de la ropa, como elemento visual atractivo, y evitar que afecte psicológicamente al usuario.

Las ortesis se podrán imprimir en ABS de colores, piezas de colores distintos o, si se decide imprimir en poliamida, se puede pintar el aparato al gusto del cliente.

Por último, cabe destacar que el producto va dirigido principalmente a usuarios jóvenes en edad de crecimiento, ya que es más efectivo, la columna aún no se ha desarrollado y es más flexible por lo que es muy probable que mejore. En caso de diagnosticarse tras el crecimiento, se podría colocar esta clase de ortesis pero no tendrán la misma efectividad en el usuario. También puede colocarse en edades avanzadas como elemento estructural y ayudaría en los casos de osteoporosis.

5. Desarrollo de la solución

Como solución final para este proyecto, se realizará una ortesis para la zona dorso-lumbar de la espalda. Su función será corregir o mejorar la exageración de las curvas cifótica y lordótica. En este caso, hablaremos del sistema mecánico del aparato y el diseño estético del mismo ya que no cuenta con otra clase de sistemas.

Se mostrará el proceso de realización y diseño de las distintas partes de la ortesis y la importancia del diseño estético para los usuarios de esta clase de aparatos.

Por último, se mostrará la solución completa de este proyecto en un ensamblaje y un ensamblaje explosionado, para qué veamos de que partes se compone detalladamente.

5.1. Sistema mecánico

A continuación, se mostrará el sistema mecánico del aparato ortésico gracias a representaciones 3D con sus respectivas explicaciones. El trabajo de diseño por ordenador se realiza mediante el programa Solid Works, de donde se sacarán las imágenes.

En primer lugar, el proceso comenzó con un escaneado del cuerpo al que se le va a realizar la ortesis. El escáner que se utilizó es portátil, por lo que el usuario se tiene que quedar en su posición habitual fija mientras el técnico que maneje el aparato da una vuelta alrededor para conseguir el modelo del busto.

El modelo tras el escaneo nos aparece en el programa Artec Studio 12 Professional. Dentro de dicho programa tenemos la opción de rellenar los posibles huecos que se crean, ya que el escaneado en algunas zonas podría ser difícil y necesitamos un busto cerrado del usuario para que no dé lugar a errores en Solid Works.

Tras comprobar que el modelo del busto sobre el cual se va a realizar la ortesis es correcto, se pasa al programa donde realizaremos el aparato. Una vez importado el sólido, tenemos las medidas reales del usuario para realizar la ortesis a medida de forma mucho más rápida que realizando un molde con escayola como se hacía anteriormente.

En un principio nos aparecerá en el programa el sólido importado con los brazos, la cabeza y demás elementos que luego quitaremos para quedarnos únicamente con el busto sobre el que se trabaja.



Ilustración 60: Busto del usuario tras el escaneado.

Como se puede ver en la ilustración 60, vemos en el programa al usuario escaneado y algunas zonas dan lugar a error como la compleja forma de la cabeza y los brazos. Se puede apreciar una protuberancia que eliminaremos en el brazo izquierdo. Las zonas mencionadas son innecesarias para el diseño por lo que han sido retiradas como se muestra a continuación:



Ilustración 61: Vistas del busto donde trabajaremos tras eliminar cabeza y brazos.

En la ilustración 61 se muestran dos vistas del busto y, una vez tenemos el modelo listo, podemos empezar a trabajar sobre él. Para ello, colocaremos unos planos centrales como muestra la ilustración 62, los cuales cortan el modelo de la forma más simétrica posible y estudiaremos la zona de la espalda.



Ilustración 62: Planos de corte principales.

La curvatura de la columna del usuario será exagerada por lo que se tomarán las medidas del modelo y se compararán con las que entran dentro de los rangos de normalidad de una columna sana. A partir de esta comparación se realiza un modelo de la curva correcta que se le aplicará al usuario con sus medidas para la ortesis pero corregidas.

Gracias a este proceso tendremos en primer lugar la zona que va sobre la columna y ayuda a corregirla y mejorarla como muestra la ilustración 63.

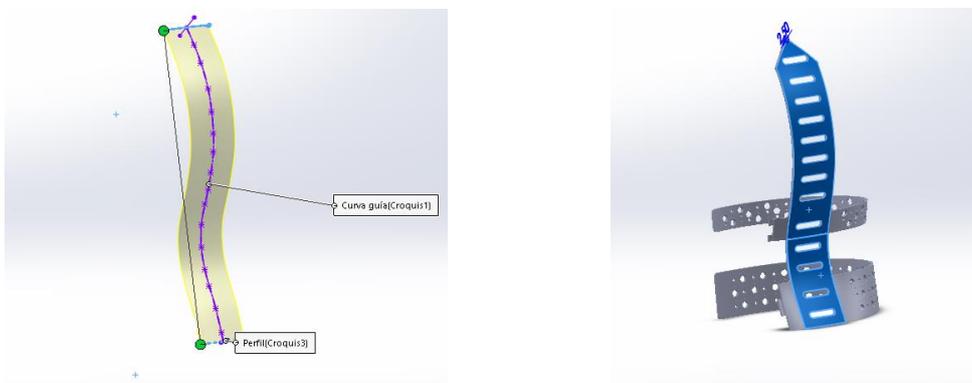


Ilustración 63: Zona de la ortesis que se coloca sobre la columna para corregirla.

Para que el aparato ejerza en el usuario las fuerzas correctivas se van a realizar dos aros, uno en la zona de la cadera, que será más ancho, y el otro más estrecho se colocará debajo del pecho. Ambos se unen a la zona ya realizada que recubre la espalda.

Para conseguir el aro de la cadera se secciona el busto por un plano como el que mostramos a continuación en la ilustración 64 y tomaremos las medidas del usuario para que la ortesis sea ajustada pero cómoda.

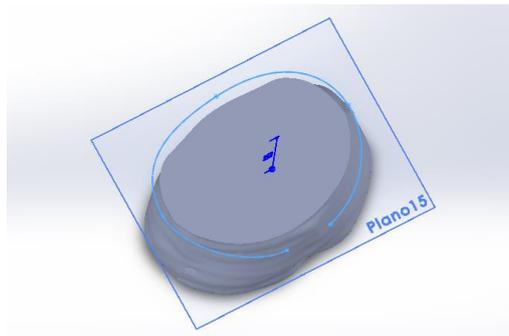


Ilustración 64: Plano seccionando la cadera para poder realizar el aro de la cintura.

Con los arcos realizados y los perfiles podremos realizar el aro que va en la zona de la cadera, el cual aporta fuerza y sujeción al aparato como se muestra en la ilustración 65. Si queremos que el aparato se pueda quitar y poner, se ha pensado en seccionar este aro en la parte frontal para colocar un velcro y realizar un sistema de bisagra en la parte posterior, sin que afecte a la resistencia para la zona de la columna.



Ilustración 65: Aro de la cadera.

Como se ha mencionado anteriormente, habrá otro aro con la misma función de ejercer fuerza y soporte para el aparato, pero en este caso será más estrecho. Se coloca justo en la zona en la que la curvatura de la espalda cambia para que sea efectivo. Una vez tenemos situado el plano, se vuelven a tomar las curvas antropomórficas y se realizan unos arcos lo más adaptados al cuerpo posible. En este caso, también se realizan los cortes para la sujeción con velcro y las bisagras para la colocación de la ortesis, se verá en la ilustración 66.



Ilustración 66: Aro superior e inferior con el sistema de bisagras y los orificios para el velcro.

En el caso de los tirantes, se quiso realizar un diseño que no causara rozaduras en la zona de la axila ni fuera tan incómodo como los que hay en la actualidad. Para ello se proponen unos tirantes rígidos, que lleguen desde la espalda hasta la zona del pecho.

Se comienza la realización de los tirantes cortando la zona que recubre la espalda por dos planos como mostraremos en la ilustración 67.

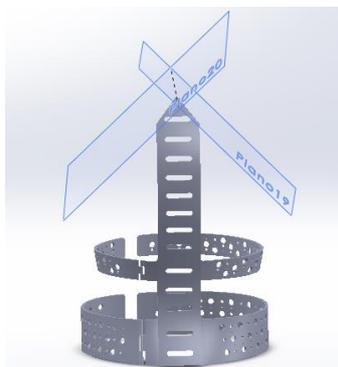


Ilustración 67: Planos de corte para realizar los tirantes.

A partir de los cortes mencionados, se realiza la geometría para la sujeción del aparato en los hombros. Esta forma que veremos en la ilustración 68 también sirve para ejercer las fuerzas correctivas y dar un buen soporte a la ortesis.

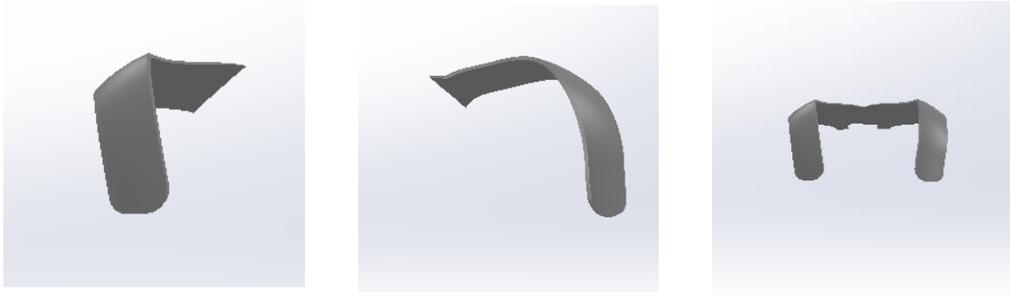


Ilustración 68: Imágenes de los tirantes para los hombros.

Una vez tenemos la geometría principal maciza del aparato ortésico, se le realizarán una serie de perforaciones en los aros y en la zona de la espalda porque la ligereza es algo primordial. Aparte de elegir plástico, que es menos pesado que los metales o el yeso, se le han realizado estas perforaciones estratégicas que no afectan a las fuerzas correctoras. Tienen una doble función, además de aligerar la ortesis, permiten la transpiración proporcionando confort al usuario y cumpliendo otro objetivo principal.

Las perforaciones se realizan gracias a la opción de matriz por curva guiada, mediante la cual seleccionaremos la de la cadera, la de la espalda y la de la zona inferior del pecho. A continuación, se muestra el resultado en las ilustraciones 69, 70 y 71:

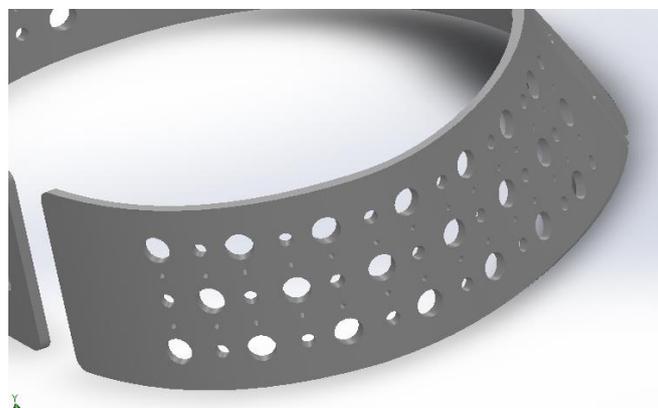


Ilustración 69: Perforaciones del aro de la cadera.

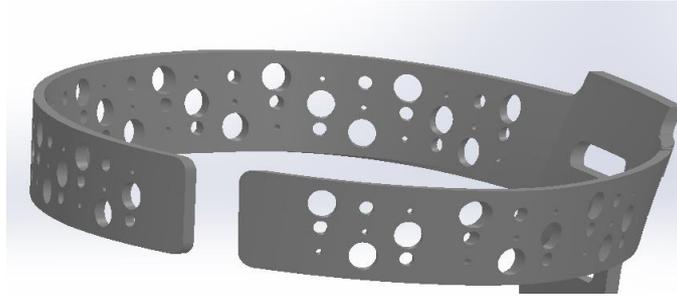


Ilustración 70: Perforaciones del aro superior.



Ilustración 71: Perforaciones de la zona de la columna.

Por último, tenemos una visión general de lo que sería el aparato diseñado, como se muestra a continuación en la ilustración 72:

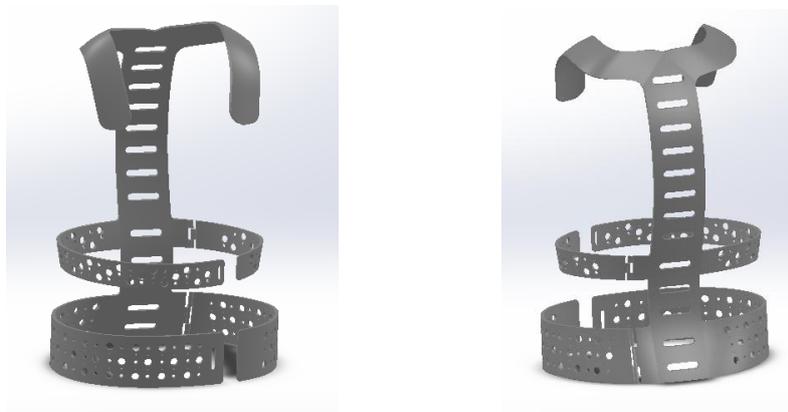


Ilustración 72: Aparato ortésico completo.

5.2. Diseño estético

Para este proyecto se ha tenido muy en cuenta el diseño estético. El aparato ortopédico, aparte de ser funcional y mejorar la curvatura exagerada de las zonas dorsal y lumbar, pretende ser un elemento visualmente atractivo y poder llevarse encima de la ropa si el usuario lo desea.

Para conseguir un diseño estético atractivo en comparación con las soluciones actuales que se encuentran en el mercado, se ha reducido al máximo la superficie de actuación de la ortesis, se han dejado únicamente las zonas principales que ejercen las fuerzas correctivas como son los hombros, el aro de la zona baja del pecho, el aro de la cadera y la zona que recubre la columna.

A parte de reducir al mínimo el aparato, se han realizado orificios en las distintas partes que lo conforman, que aligeran el peso y ayudan a la transpiración además de darle un aspecto más atractivo y moderno.

También cabe destacar que este tipo de aparatos van dirigidos a un sector de la población joven en edad de crecimiento, en concreto entre los 9 y los 11 años es cuando se suele detectar esta clase de patologías.

A esas edades afecta psicológicamente de manera negativa el tener que llevar esta clase de ortesis, no solo porque la mayoría de ellos reduce bastante el movimiento sino porque en ocasiones no se puede ocultar bajo la ropa y son voluminosos y antiestéticos.

Se ha conseguido que la movilidad sea casi plena y se pueda ocultar bajo la ropa o llevarlo por encima como elemento estético. Cada usuario puede decidir si prefiere un modelo clásico de color neutral o algo más personalizado con colores o imágenes.

En caso de querer el aparato de manera personalizada, como hemos mencionado anteriormente, se pueden elegir colores vistosos o imágenes para plasmar.



Ilustración 73: Ortesis en color blanco.



Ilustración 74: Ortesis en color rosa y verde.



Ilustración 75: Ortesis color amarillo y azul.



Ilustración 76: Ortesis color rojo.

5.3. Solución completa por ensamblaje de los diferentes sistemas desarrollados.

Para finalizar, mostraremos la solución completa del aparato ortésico, distinguiendo cada una de las piezas en un conjunto explosionado como vemos en la ilustración 77. Se puede apreciar como las partes del hombro tienen unos tetones que se encajan en la zona de la espalda dorsal, que a su vez se encaja del mismo modo con la espalda lumbar. Tanto el aro de la cintura como el de la cadera se unirán al aparato mediante el mecanismo de bisagra, para acoplarse al resto del aparato como hemos visto en las imágenes de puntos anteriores.

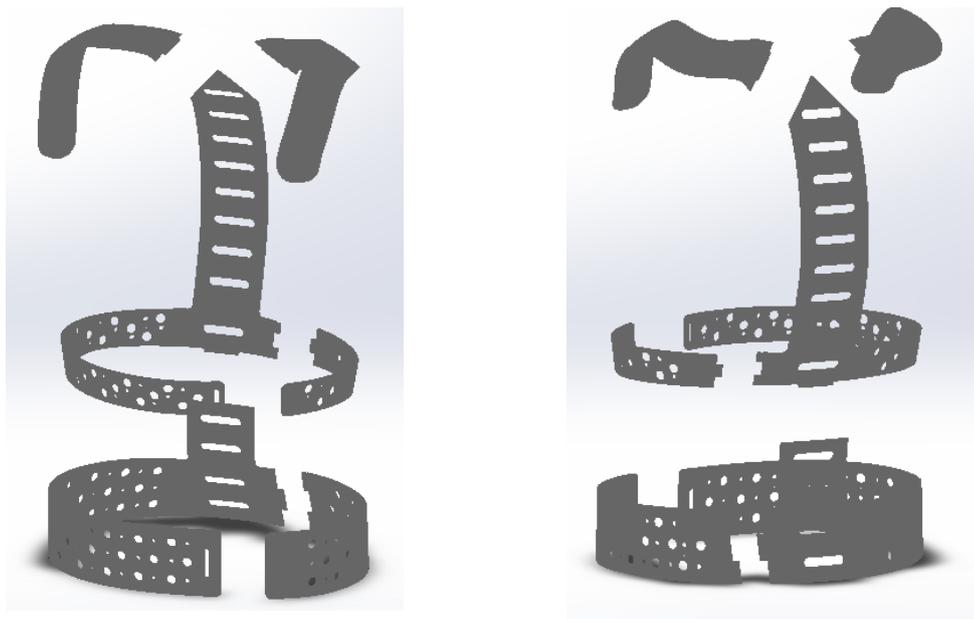


Ilustración 77: Explosionado del ensamblaje.

6. Proceso de fabricación

En el siguiente apartado se hablará del modelo de negocio, pensado en un principio para realizar un solo aparato adaptado completamente al usuario. En el apartado de líneas futuras, se explicará cómo sería el proceso de fabricación de un producto final a nivel industrial.

El principal requisito es que se pueda imprimir en 3D, es decir, que una vez se tenga un archivo STL, se pueda encargar la impresión a nivel industrial del aparato ortopédico.

El proceso comienza escaneando el busto del usuario para tenerlo en el programa donde diseñaremos la ortesis. Una vez visualizamos la curvatura de su espalda y mediante las radiografías previamente realizadas, se le aplicará a la parte que va en la columna la corrección pertinente recomendada por el médico. Se intentará conseguir en la medida de lo posible que la espalda recupere su curvatura sana.

Con el busto en medidas reales y la corrección aplicada a la espalda podremos realizar los aros y tirantes para que se sujete y el aparato tenga la suficiente fuerza para corregir la hiperlordosis e hiperlordosis.

Una vez tenemos la estructura principal deseada, como queremos que el aparato se pueda quitar y poner de forma sencilla, se diseñará el sistema de bisagra en ambos aros, tanto en el de la cadera como en el de debajo del pecho, tal y como se ha mostrado en el apartado anterior. El aparato se cierra gracias a los velcros que se colocan en la parte delantera, por lo que es necesario realizar unas ranuras.

El siguiente paso que habrá que realizar por ordenador serán las perforaciones para aligerar y ayudar a la transpiración, las cuales no se realizan en los tirantes para que no pierdan resistencia. En las otras partes sí que se hacen porque siguen siendo lo suficientemente resistentes como para aguantar las fuerzas.

Para finalizar con el proceso de diseño por ordenador, se divide el aparato en piezas por sitios estratégicos, en los cuales se realizan pestañas de posicionamiento por una parte. Donde encajan dichas pestañas pero en la pieza contraria, haremos hendiduras para montar el aparato de forma sencilla.

Con esto ya tendríamos realizada la parte de diseño por ordenador y podemos transformar el archivo a STL. Con este formato, se puede enviar al programa con el cual lo imprimiremos en 3D, en este caso Magics.

El siguiente paso es introducir pieza por pieza al programa, y con él se puede comprobar si hay errores y automáticamente corregirlos. Si tenemos los archivos correctos o corregidos podremos colocarlos en la cubeta de la impresora 3D, en este caso de poliamida.

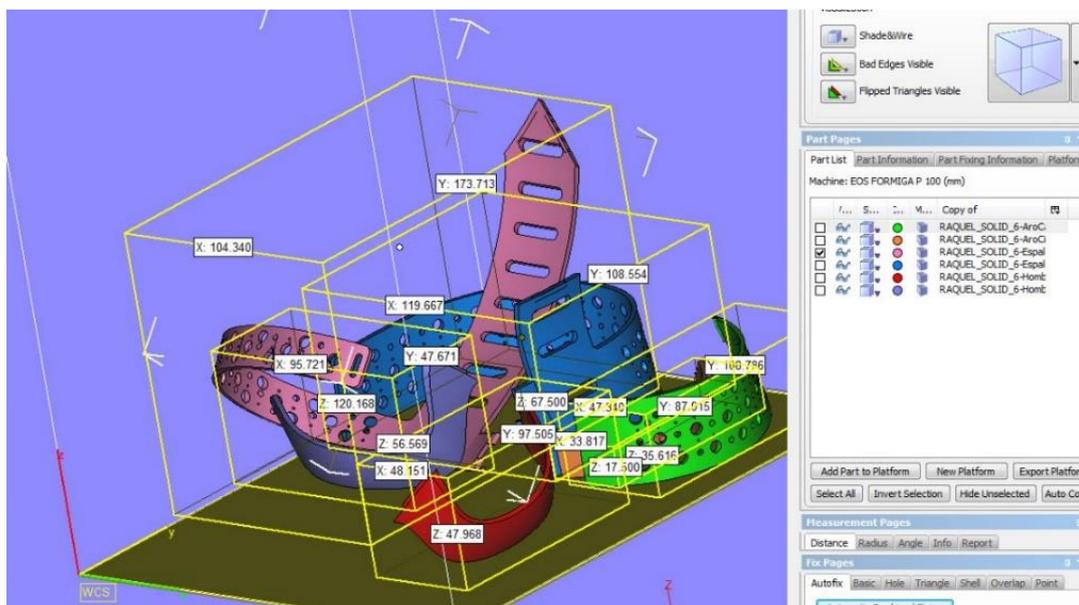


Ilustración 78: Vista isométrica de la posición de las piezas en la cubeta de la impresora 3D mediante el programa Magics.

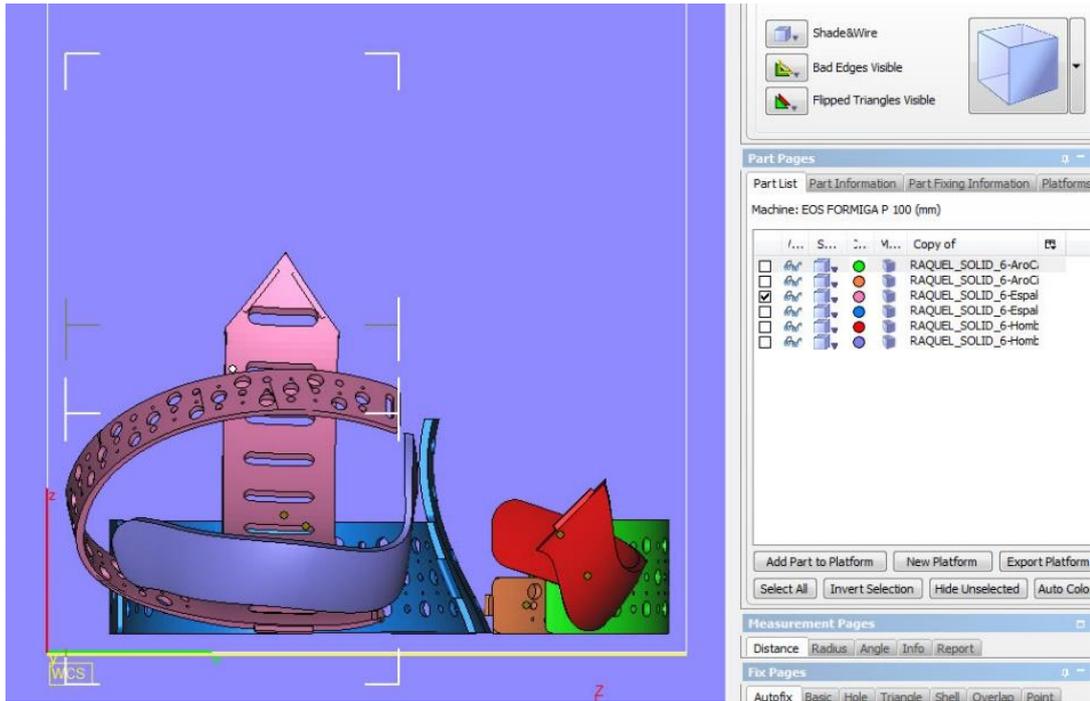


Ilustración 79: Vista frontal de las piezas en Magics.

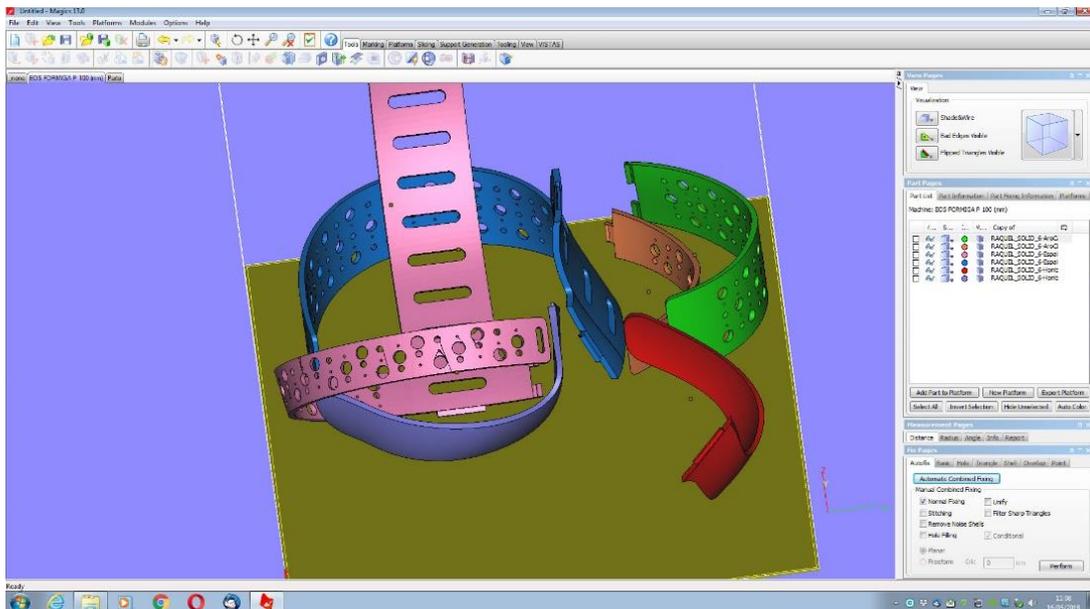


Ilustración 80: Vista de la posición de las piezas en Magics.

Como se puede comprobar en la ilustración 78, 79 y 80, se ha procurado el mayor ahorro de material posicionando las piezas de forma precisa y ordenada evitando colisiones entre ellas para que no dé lugar a error. Ya se podría enviar la orden de impresión en 3D a la máquina.

Este proceso durará unas cuantas horas. En concreto, como se hace un modelo a escala reducida, serán 10 horas aproximadamente, pero si se quiere hacer a tamaño real estaríamos hablando de entre 30 y 35 horas de impresión, dependiendo del tamaño de las piezas.

Cuando ya tenemos las piezas físicamente, podemos proceder a unir las zonas por las que ha sido dividido el aparato, revestir la cara interna y colocar los ejes de las bisagras. Por último, se realiza la colocación de los velcros para tener el aparato ortésico final acabado. Ya sería un aparato ortésico funcional.

7. Modelo de negocio

Para este apartado se realizará un estudio en el cual incluiremos los potenciales clientes a los que va dirigido. Se le pueden dar más usos, pero quiere recomendarse especialmente para usuarios en los cuales su eficacia es máxima.

Por otro lado, se realizará un presupuesto detallado donde se incluyen los materiales utilizados para la realización de esta ortesis y sus precios, además de las horas de trabajo y su precio en función del volumen de la pieza en cm^3 .

7.1. Potenciales clientes a los que va dirigido.

Como se ha mencionado en el anterior apartado de diseño estético, este tipo de aparatos ortésicos va dirigido a un sector de la población joven en edad de crecimiento, en concreto entre los 9 y los 11 años, que es cuando se suelen detectar esta clase de patologías.

A esas edades, es más probable que la ortesis actúe de manera efectiva y se consigan grandes resultados. Cuando no se detecta a tiempo y el usuario ya no está en edad de crecimiento, es menos efectivo y podríamos hablar de mejora. También impide que la curvatura se agrave y proporciona el recuerdo de una postura sana.

En casos puntuales, como podrían ser clientes que solo requieren soporte estructural o padecen osteoporosis, también podría ser recomendable este dispositivo para aliviar cargas o proporcionar ese soporte.

Se estima que la incidencia de la cifosis en la población es, en general, de entre el 4 y el 8%, de las cuales entre el 0.4 y 0.8% son juveniles y se podrían mejorar o corregir con la ortesis diseñada.

7.2. Presupuesto

Como el proyecto no está finalizado y da pie a líneas futuras, no se puede hacer una estimación exacta de la cuantía total que supondría un producto totalmente comercializable. Faltaría un modelo de negocio bien definido para explicar a los médicos las ventajas del producto y que lo recomienden a los usuarios que más les encaje. Además de un sistema de escaneado bastante preciso o algún método para parametrizar el aparato y poder escalarlo.

Se podría calcular el coste de realizar el dispositivo con polvo de poliamida o ABS en la impresora 3D, de la cual obtendríamos el aparato y simplemente habría que añadir el recubrimiento, los dos ejes metálicos que lleva como bisagras y los dos velcros para cerrar el aparato.

Se tendrá en cuenta el coste del material, en este caso poliamida 2200 como hemos mencionado, en el cual se incluye el tiempo de trabajo y el coste por cm^3 . Al igual que si se desea realizar en ABS, que se está introduciendo con bastante fuerza en este sector, tendremos incluidos el tiempo de trabajo y el coste.

Tabla 1: Presupuesto del aparato ortésico.

Tipo de material	Precio unitario (€)	Unidades/ cm^3	Coste
Poliamida PA220	1,7 €/cm ³	496,562 cm ³	844,15 €
ABS	0,9 €/cm ³	496,562 cm ³	446,9 €
Revestimiento de la cara interna o foamizado	0,4 €/cm ³	134,257 cm ³	53,7 €
Velcro	0,5 €	2 unidades	1€
Eje metálico	0,25 €	2 unidades	0,5 €
Precio total del aparato ortésico impreso en poliamida			899,35 €
Precio total del aparato ortésico impreso en ABS			502,1 €

El coste de fabricación puede parecer un poco elevado, pero hay que tener en cuenta que ninguna de las piezas del aparato ortésico sigue un patrón estándar o hay elementos comerciales. La ortesis es única para cada usuario y adaptada a la morfología de su cuerpo.

En este caso las horas de diseño también habría que estimarlas e incluirlas en el precio, pero como en un futuro se pretende trabajar por módulos el diseño y escalar directamente con medidas, el precio del diseño será mucho menor.

Cuando el producto sea comercializable también se tendrá en cuenta el precio del alquiler de las máquinas por horas, que no viene incluido en el presupuesto ya que dependerá del tamaño de la ortesis de cada usuario.

Además, se ha sobredimensionado para tener un dispositivo robusto que no se rompa con facilidad, se podría abaratar costes haciendo el espesor algo más fino o imprimiendo en 3D con materiales más baratos que los utilizados.

8. Complementos

8.1. Instrucciones de uso

Indicaciones

- Hipercifosis e hiperlordosis
- Enfermedad de Scheuermann juvenil
- Hipercifosis e hiperlordosis con dolores de espalda crónicos
- Osteoporosis

Contraindicaciones

- Siguiendo las directrices del médico y del ortopeda se desconocen contraindicaciones hasta la fecha.

Control de la posición de la ortesis

- La férula dorsolumbar se ajusta a la curva recomendada para el usuario y debe estar paralela a la columna
- El cinturón superior está ideado para colocarse justo bajo el pecho, en la zona de las costillas flotantes donde la curvatura de la columna cambia
- El cinturón inferior se sitúa en la zona de las caderas
- Los tirantes se colocan sobre los hombros

Colocación de la ortesis

Este aparato ortésico puede colocarse tanto bajo la ropa como por encima de ella. Para facilitar la colocación resulta útil colocarse ante un espejo o con la ayuda de una persona.

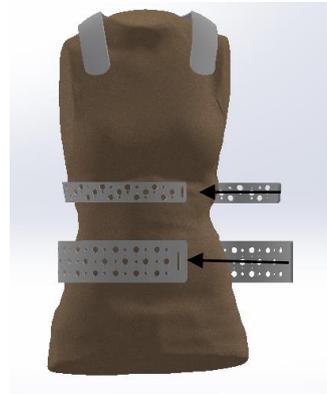
En primer lugar, se deben abrir los cierres adhesivos de velcro que se encuentran en la parte anterior de la ortesis. Al girar las bisagras, el aparato quedará completamente abierto para la colocación.

Se deberá colocar la ortesis por la parte de los tirantes, posicionándola adecuadamente en los hombros de forma que quede ajustada, o el ayudante la podrá introducir como muestra la ilustración 81. A continuación, se deberán girar las bisagras para colocar los aros superior e inferior pegados al cuerpo y cerrar el velcro para que el aparato ortésico pueda realizar su función, indicado en la ilustración 82.

También ante el espejo o con ayuda, se deberá controlar la posición de la férula dorso-lumbar y que los aros estén bien ajustados así como los tirantes, mostrado en la ilustración 83.



*Ilustración 81:
Colocación de
tirantes.*



*Ilustración 82:
Colocación de aros.*



Ilustración 83: Posicionamiento adecuado de la ortesis.

Atención

Para evitar que la ortesis cumpla mal su función o que pueda producir daños en el usuario, se deben ajustar los velcros de forma cómoda pero tensa para que no se produzcan movimientos indeseados.

Si los desplazamientos son ligeros no producirían contraindicaciones en el usuario, pero se recomienda por comodidad una colocación óptima.

Funcionamiento

Cuando el usuario lleva la ortesis, se activa la musculatura de la espalda y el tronco del usuario se incorpora suavemente contrarrestando los arcos típicos de la hipercifosis e hiperlordosis. La estructura en sí del aparato sirve de soporte a la musculatura, también llevará suavemente los hombros hacia atrás pero el usuario podrá mover los brazos libremente y respirar sin obstáculos.

Aplicación

En la fase de habituación y para la recuperación gradual de la actividad muscular es recomendable que la ortesis se lleve un poco más de tiempo cada día y la musculatura se debe entrenar con cuidado.

Dependiendo de la función para la que se utilice el aparato, el médico determinará cuántas horas ha de llevarlo el paciente.

Limpieza y conservación

No dejar metido el aparato en agua o ducharse con él. Es recomendable limpiar la estructura de plástico con un paño húmedo. Almacenar la ortesis en un lugar fresco y seco protegido de los rayos solares que pueden degradar el material.

9. Comprobación de las especificaciones

9.1. Grado de cumplimiento de los objetivos

En este apartado se revisarán los objetivos uno a uno para comprobar si se han cumplido. En caso de no cumplirse alguno de ellos o se hayan realizado cambios en el proyecto se especificarán en otro apartado.

- El principal objetivo de este trabajo será la realización de una ortesis para las afecciones de hipercifosis e hiperlordosis. Servirá para sostener la espalda, alinear y corregir deformidades, también para mejorar la función del aparato locomotor. Será un dispositivo mecánico que ejerza fuerzas para ayudar a la corrección de la zona dorsolumbar. De esta forma, su función puede ser expresada en términos de vectores de fuerza.
 - En este caso se ha cumplido el principal objetivo, ya que el aparato ortésico, siendo un dispositivo mecánico, corrige la columna mediante vectores de fuerza mostrados en la ilustración 55.
- Ha de tener la suficiente resistencia para que no se rompa con el uso o se deforme, ya que es un producto que se puede utilizar hasta 23 horas diarias durante 2 años, con lo cual ha de ser de unos materiales que soporten este desgaste.
 - Para cumplir con este objetivo se ha pensado en dos materiales, impresión 3D con plástico ABS que lo cumple y la tendencia de los aparatos ortésicos está siendo a realizarse con este material, e impresión con polvo de poliamida, que es más resistente que el ABS, así que también cumple este objetivo.

- Este aparato ha de permitir la movilidad del usuario para que pueda realizar sus actividades diarias, por ello la forma ergonómica se tendrá muy en cuenta en el diseño.
 - Como se puede comprobar en la ilustración 73, en la cual se ve el producto final acabado, gracias a su forma, el usuario puede realizar sus actividades sin verse afectado.
- Otro punto importante que se destaca será la ligereza de la ortesis y transpirabilidad. Es conveniente que no sobrepase los 800 gramos de peso ya que ha de ser llevado bastantes horas al día, produciéndose la transpiración para evitar problemas de piel o sudoración excesiva.
 - Gracias a los orificios realizados por todo el aparato ortésico y su material plástico se ha conseguido un producto muy ligero que pesa entre 450 y 750 gramos, dependiendo del usuario, ayudando a que se produzca la transpiración. El realizado en concreto pesa 556.15 gramos.
- Otros puntos importantes son la facilidad de uso.
 - Se puede comprobar en el apartado de instrucciones de uso y montaje su facilidad de uso y en pocos casos es necesaria la ayuda de otra persona para la colocación.
- Como uno de los requisitos más interesantes, se ha decidido que la ortesis fuera lo más estética posible e incluso se pueda poner encima de la ropa como un elemento visualmente atractivo.
 - Este objetivo se ha querido cumplir a parte de con una forma atractiva para el usuario, con colores o combinaciones de ellos como muestran las ilustraciones 73, 74, 75 y 76.

10. Conclusiones

El proyecto documentado en esta memoria surge de la necesidad de corrección o mejora de las patologías de hipercifosis e hiperlordosis, las cuales tienen tendencia a agravarse si no se busca una solución.

Se han barajado una serie de objetivos que se querían cumplir y el resultado puede variar en función de los materiales propuestos, la forma de impresión 3D utilizada y el grado de personalización que se le quiera agregar al producto.

Ya existían distintas soluciones en el mercado actual, cuyo principal objetivo es ser funcionales. En este caso, se ha querido elegir una solución que, además de funcional, aporte el toque del diseño a la ortesis para que sea un elemento visualmente atractivo con el que el usuario se pueda sentir cómodo.

Se ha desarrollado la solución propuesta como un sistema únicamente mecánico que cumpla los requisitos mencionados y se han aportado varias opciones de acabados para que el usuario pueda elegir.

Por otro lado, se ha elaborado un proceso de fabricación para un solo aparato personal, aunque se quiere elaborar un producto completamente comercial como veremos en el siguiente apartado de líneas futuras.

Para este aparato hay un presupuesto concreto y se han realizado las instrucciones de uso y montaje, para facilitar al usuario la colocación de la ortesis.

Por último, se ha procedido a realizar las comprobaciones necesarias tras realizar el proyecto, en las cuales se han comparado los objetivos con los resultados obtenidos y se ha decidido si estos objetivos se cumplen en este producto.

11. Líneas futuras

El proyecto realizado, el cual se ve reflejado en la presente memoria es unipersonal, con lo cual habría que repetir el proceso para cada usuario. Lo que se pretende realizar en un futuro es un proceso más estándar para que se agilice y cada usuario reciba su ortesis lo antes posible, ahorrar costes y sea un proyecto totalmente comercial.

En primer lugar, cabe destacar que la tendencia de esta clase de proyectos es realizarlos por impresión 3D en material plástico ABS, que es más barato, y se le puede dar el color deseado directamente en la impresión.

Con lo cual se propone que en un futuro haya un modelo de ortesis dividido en módulos. Éstos serán los que, a través de las medidas que le demos, escalaran el aparato para los distintos usuarios, los cuales solo han de preocuparse de tomar dichas medidas de su cuerpo y enviarlas al técnico encargado de la realización.

Así en mucho menos tiempo tendremos una ortesis para cada usuario y se puede enviar a imprimir con las medidas personalizadas.

También se ha pensado en realizar un sistema de partición de piezas que se unan mediante clips, de esta manera podrá enviarse la ortesis a cada usuario en una caja de tamaño reducido, con lo cual abarataríamos costes de envío y se ahorraría espacio. Por supuesto, habría que realizar unas sencillas instrucciones de montaje.

Dividir la ortesis con este sistema también implica que, si alguna de las piezas se rompe, solo habría que reemplazar esa parte y no todo el aparato, ahorrando costes.

Para que el proyecto finalice con éxito se pretende, aparte de agilizar el proceso y abaratar costes, se financie mediante la seguridad social cuando un médico lo recete al usuario.

12. Bibliografía

Anónimo. (2016). Obtenido de

<http://files.sld.cu/arteydiscapacidad/files/2012/08/ortesis-del-tronco.pdf>

Anónimo. (9 de mayo de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:

https://es.wikipedia.org/wiki/Columna_vertebral

Anónimo. (s.f.). *Cifosis*. Obtenido de Cifosis: <http://cifosis.org/cifosis-de-scheuermann/>

Anónimo. (s.f.). *EMO*. Obtenido de EMO:

<http://www.emo.es/es/catalog/detail/3359/orthofit-lacer-boa-para-ortesis>

Anónimo. (s.f.). *EMO*. Obtenido de EMO:

<http://www.emo.es/es/catalog/detail/3375/click-fit-strap-cinta-boa-para-ortesis>

Anónimo. (s.f.). *Ottobock*. Obtenido de Ottobock:

<http://www.ortopediaitraumatologia.pl/wp-content/uploads/2013/10/Technologia-Skinguard.pdf>

Arce, C. (2015). *Ortesis de miembros superiores*. Obtenido de Ortesis de miembros superiores: http://www.arcesw.com/o_m_s.pdf

Carolina, C. (s.f.). *monografias.com*. Obtenido de monografias.com:

<http://www.monografias.com/trabajos63/anatomia-columna-vertebral/anatomia-columna-vertebral.shtml>

Castellanos, J. (s.f.). *Fisioterapia online*. Obtenido de Fisioterapia online:

<https://www.fisioterapia-online.com/articulos/enfermedad-de-scheuermann-definicion-causas-y-tratamiento-fisioterapeutico>

Cisneros, T. (2017). *Ortoprótisis*. Tudela: Universidad Pública de Navarra.

Del Valle Ponsati, E., & Corrao, H. R. (s.f.). *Ortesis y prótesis*. Obtenido de

Ortesis y prótesis: <http://kinesiouba.com.ar/wp-content/uploads/2014/07/MATERIALES.pdf>

Junquera, I. (s.f.). *Fisioterapia online*. Obtenido de Fisioterapia online:
(<https://www.fisioterapia-online.com/videos/tratamiento-de-la-cifosis-dorsal-ejercicios-estiramientos-y-recomendaciones-del-fisioterapeuta>)

Junquera, M. (s.f.). *Fisioterapia online*. Obtenido de Fisioterapia online:
<https://www.fisioterapia-online.com/articulos/que-es-la-escoliosis-cuales-son-sus-causas-sintomas-diagnostico-y-tratamiento>

Junquera, M. (s.f.). *Fisioterapia online*. Obtenido de Fisioterapia online:
<https://www.fisioterapia-online.com/articulos/la-lordosis-o-curvatura-lumbar-que-es-consejos-y-ejercicios-para-recuperarla>

Robles, F. (23 de septiembre de 2013). *In Slide Share*. Obtenido de In Slide Share: <https://es.slideshare.net/fernandocrobles/tipos-de-rtesisIn>

Toscano, O. (9 de julio de 2010). *In Slide Share*. Obtenido de In Slide Share: <https://es.slideshare.net/osvaldoeltoch/materiales-mas-utilizados-en-ortesis-y-protesis>

UNYQ. (s.f.). *UNYQ*. Obtenido de UNYQ: <http://unyq.com/scoliosis-brace/>

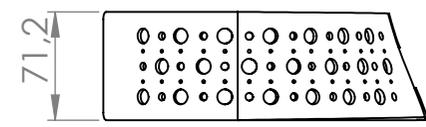
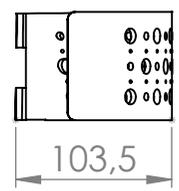
13. Anexos

Se quiere mencionar que, a continuación, se van a mostrar los planos del producto, las acotaciones simplemente sirven para tener en cuenta las medidas de las piezas a la hora de imprimirlo en 3D.

6 5 4 3 2 1

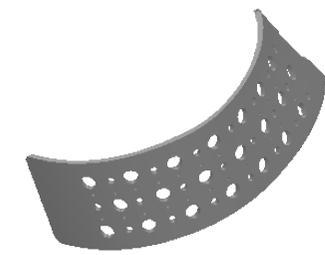
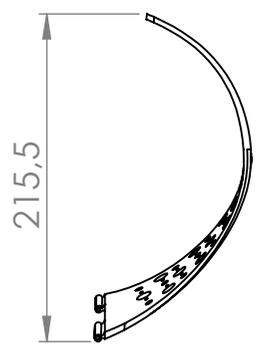
D

D



C

C



B

B

DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES	E.T.S.I.I.T GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO	 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>
PROYECTO: Aparato ortésico para la corrección y mejora de hiperdiftosis e hiperlordosis	REALIZADO POR: Martínez Hoyos, Raquel	FIRMA:
DESCRIPCIÓN: Aro cadera		FECHA: 20/05/2018 ESCALA: 1: 5 Nº DE PLANO: 1

A

6 5 4 3 2 1

6

5

4

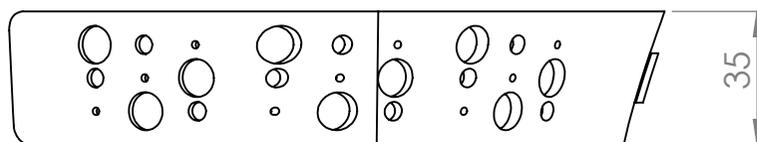
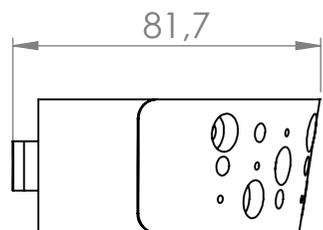
3

2

1

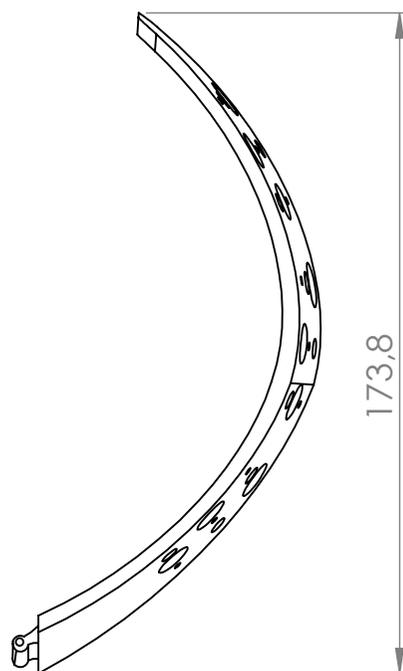
D

D



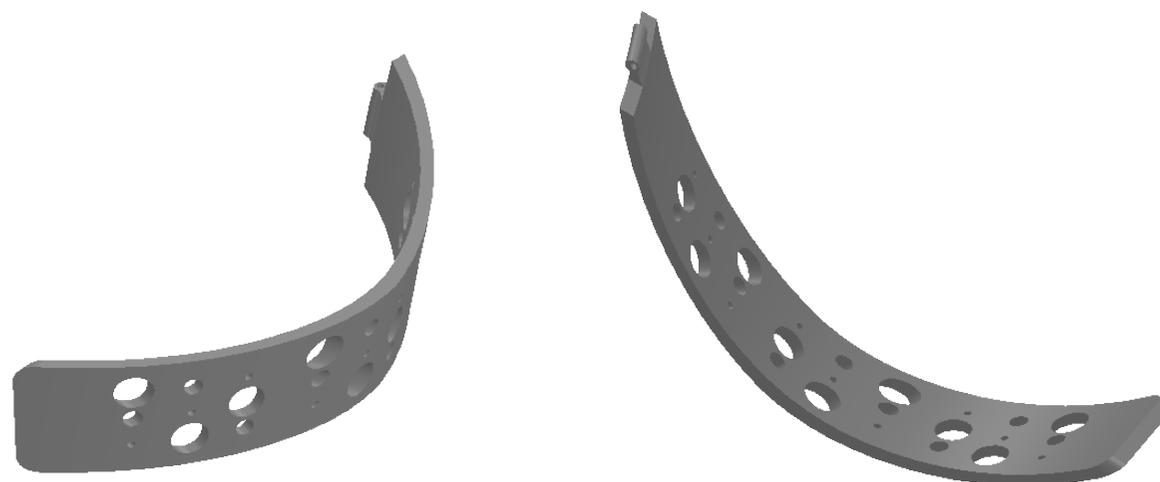
C

C



B

B



A

A

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES**

E.T.S.I.I.T
**GRADO EN INGENIERÍA EN
DISEÑO MECÁNICO**



Universidad Pública
de Navarra
*Nafarroako
Unibertsitate Publikoa*

PROYECTO:
Aparato ortésico para la corrección y
mejora de hiperdífosis e hiperlordosis

REALIZADO POR:
Martínez Hoyos, Raquel

FIRMA:

DESCRIPCIÓN:
Aro cintura

FECHA: 20/05/2018

Nº DE PLANO:

ESCALA: 1: 5

2

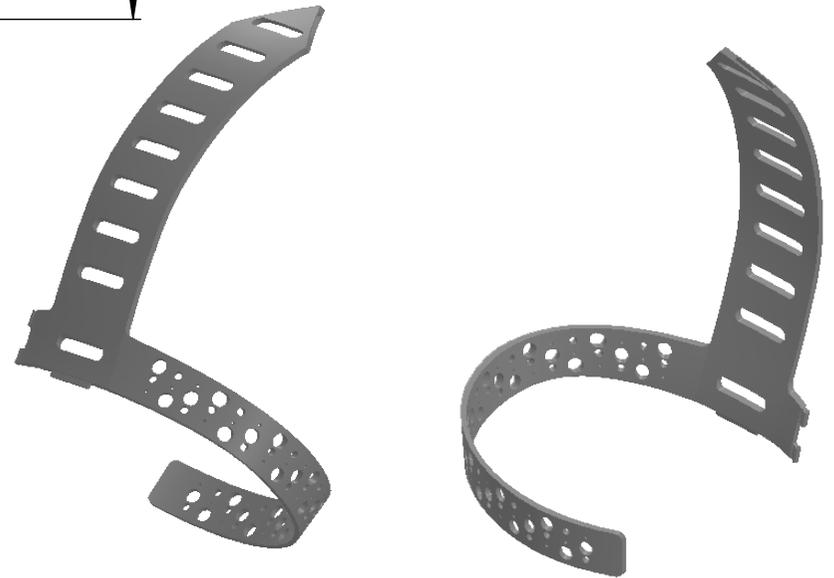
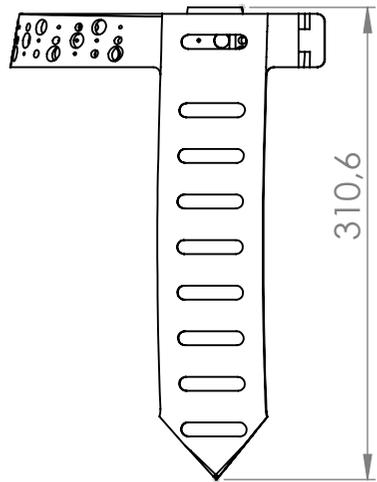
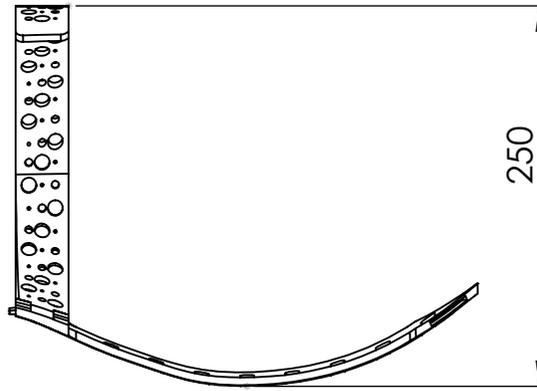
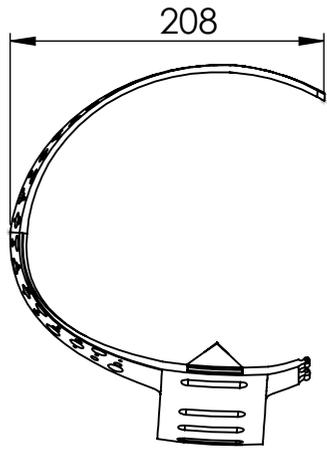
6

5

4

3

6 5 4 3 2 1



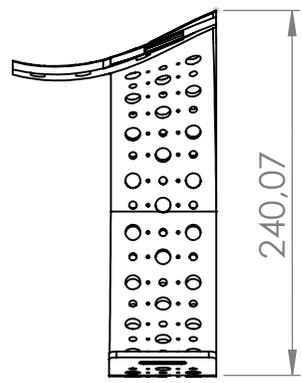
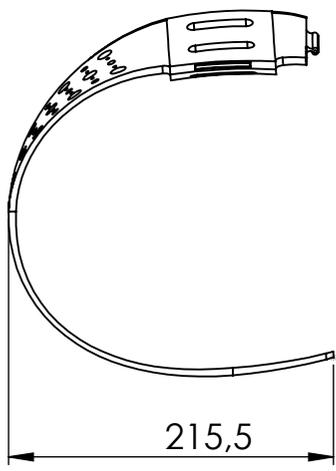
DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES	E.T.S.I.I.T GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO	 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>
PROYECTO: Aparato ortésico para la corrección y mejora de hiperdificosis e hiperlordosis	REALIZADO POR: Martínez Hoyos, Raquel	FIRMA:
DESCRIPCIÓN: Espalda dorsal	FECHA: 20/05/2018	Nº DE PLANO: 3
	ESCALA: 1: 5	

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

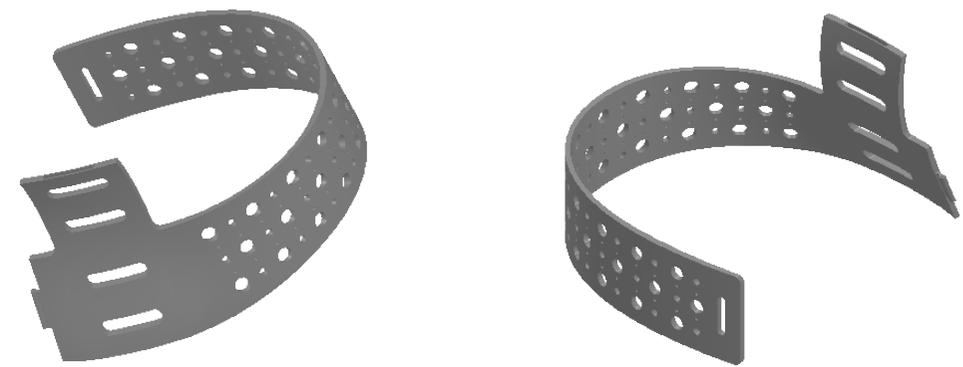
D

D



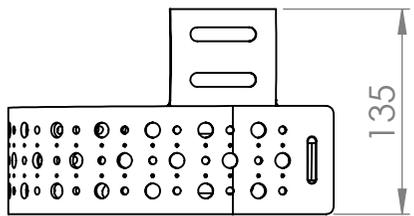
C

C



B

B



A

A

DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES	E.T.S.I.I.T GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO	 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>
PROYECTO: Aparato ortésico para la corrección y mejora de hiperdificosis e hiperlordosis	REALIZADO POR: Martínez Hoyos, Raquel	FIRMA:
DESCRIPCIÓN: Espalda lumbar		FECHA: 20/05/2018 ESCALA: 1: 5 Nº DE PLANO: 4

6 5 4 3 2 1

6

5

4

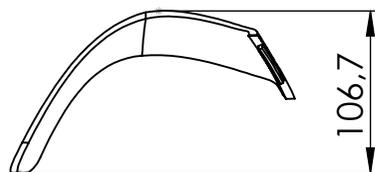
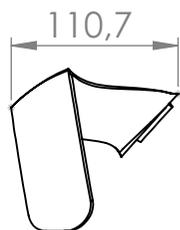
3

2

1

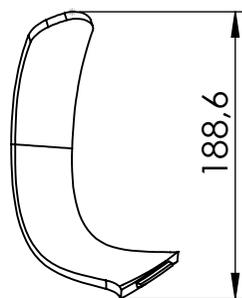
D

D



C

C



B

B



A

A

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
MATERIALES**

E.T.S.I.I.T
**GRADO EN INGENIERÍA EN
DISEÑO MECÁNICO**



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

PROYECTO:
Aparato ortésico para la corrección y
mejora de hiperdiftosis e hiperlordosis

REALIZADO POR:
Martínez Hoyos, Raquel

FIRMA:

DESCRIPCIÓN:
Hombro derecho

FECHA: 20/05/2018

Nº DE PLANO:

ESCALA: 1: 5

5

6

5

4

3

2

1

6

5

4

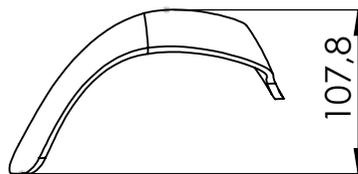
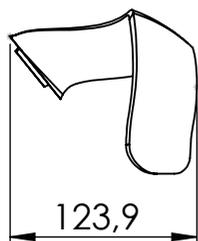
3

2

1

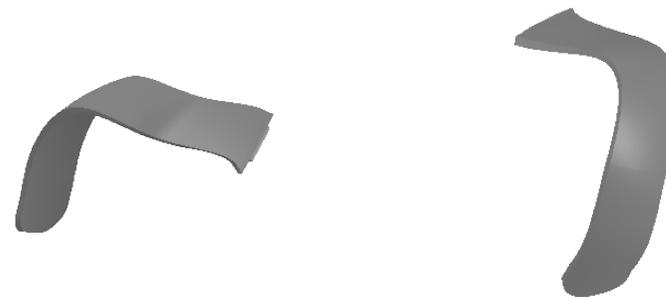
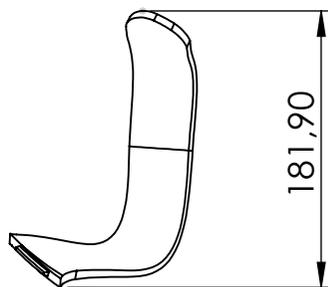
D

D



C

C



B

B

A

A

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
 MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
 MATERIALES**

E.T.S.I.I.T
**GRADO EN INGENIERÍA EN
 DISEÑO MECÁNICO**



Universidad Pública
 de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

PROYECTO:
 Aparato ortésico para la corrección y
 mejora de hiperdífosis e hiperlordosis

REALIZADO POR:
Martínez Hoyos, Raquel

FIRMA:

DESCRIPCIÓN:

Hombro izquierdo

FECHA: 20/05/2018

Nº DE PLANO:

ESCALA: 1: 5

6

6

5

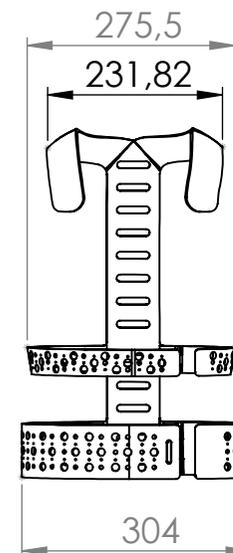
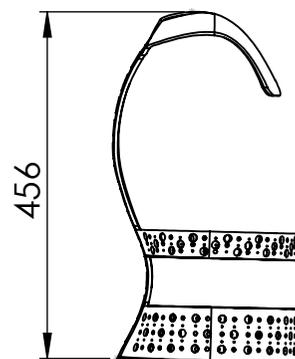
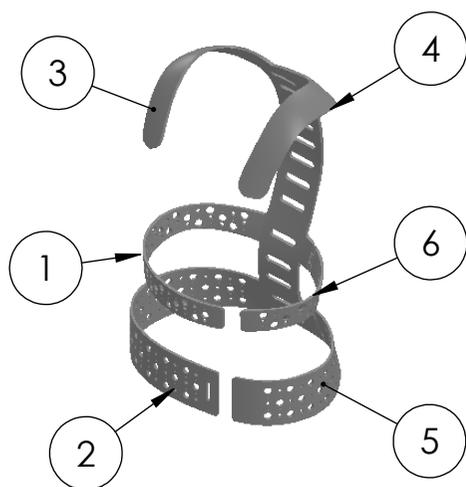
4

3

2

1

6	5	4	3	2	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN			CANTIDAD
1	RAQUEL_SOLID_6-EspaldaDorsal	ZONA DORSAL DE LA ESPALDA			1
2	RAQUEL_SOLID_6-EspaldaLumbar	ZONA LUMBAR DE LA ESPLADA			1
3	RAQUEL_SOLID_6-HombroDerecho	HOMBRO DERECHO			1
4	RAQUEL_SOLID_6-Hombrolzquierdo	HOMBRO IZQUIERDO			1
5	RAQUEL_SOLID_6-AroCadera	ARO DE SUJECIÓN EN CADERA			1
6	RAQUEL_SOLID_6-AroCintura	ARO DE SUJECIÓN EN CINTURA			1



DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES	E.T.S.I.I.T GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO	 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>
PROYECTO: Aparato ortésico para la corrección y mejora de hiperdificosis e hiperlordosis	REALIZADO POR: Martínez Hoyos, Raquel	FIRMA:
DESCRIPCIÓN: Conjunto del aparato corrector	FECHA: 20/05/2018	Nº DE PLANO: 7
	ESCALA: 1:5	

6

5

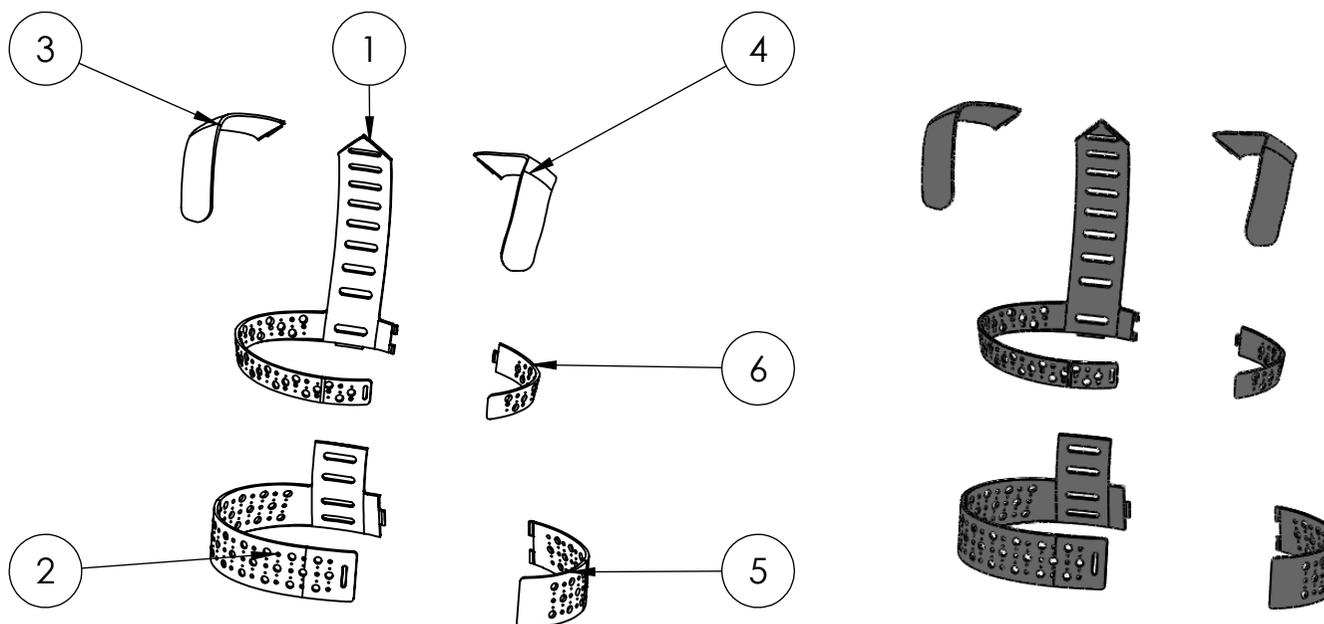
4

3

2

1

Número de pieza	Nombre de la pieza
1	Espalda dorsal
2	Espalda lumbar
3	Hombro derecho
4	Hombro izquierdo
5	Aro cadera
6	Aro cintura



DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
 MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE
 MATERIALES**

E.T.S.I.I.T
**GRADO EN INGENIERÍA EN
 DISEÑO MECÁNICO**



Universidad Pública
 de Navarra
*Nafarroako
 Unibertsitate Publikoa*

PROYECTO:
 Aparato ortésico para la corrección y
 mejora de hipercifosis e hiperlordosis

REALIZADO POR:
Martínez Hoyos, Raquel

FIRMA:

DESCRIPCIÓN:
 Conjunto explosionado del aparato corrector

FECHA: 20/05/2018

Nº DE PLANO:

ESCALA: 1:5

8

6

5

4

3

2

1