

INGENIERÍA BIOMÉDICA

PUCP-UPCH



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA



PUCP

“Diseño de un Dispositivo Ortésico Dinámico para el Tratamiento no Invasivo en Adolescentes con Escoliosis Idiopática”

INTEGRANTES:

Torres Rivera, Joao Marco
Nieto Valencia, Sofia Milagros
Orihuela Flores, María Cristina
Zavaleta Medina, Claudia Adriana
Medina Celiz, Jorge Eduardo

CURSO:

Proyectos de Biodiseño 1

ASESOR:

Rueda Raez, Luis Daniel

2022-2

1. PROBLEMÁTICA (Hito 1) - Empatizar y Definir

1.1 Marco teórico:

A. Definiciones básicas:

a.1. Conceptos:

i. Escoliosis:

El término escoliosis deriva del griego antiguo “skolios” [1]. La escoliosis es una dorsopatía que involucra la deformación tridimensional de la columna vertebral en los planos coronal y sagital, e involucra además una rotación sobre su propio eje [2,3], una representación de esta deformación se puede observar en la **Figura 1**.

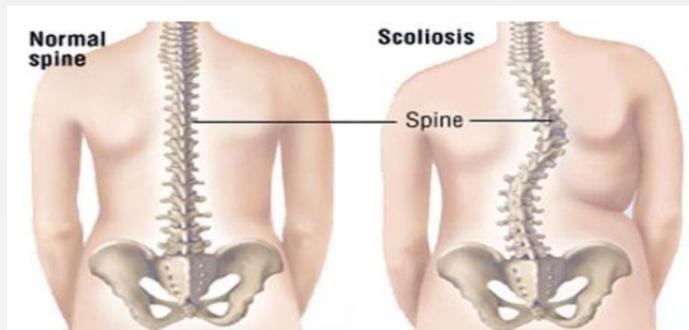


Figura 1: Obtenido de [4]. Comparación entre la columna de una persona sana y otra con deformación identificada como escoliosis.

Se denomina escoliosis a toda deformación espinal que presenta un ángulo de curvatura (medido en base al ángulo de Cobb) mayor a 10° y es clasificada de acuerdo a las causas de la deformación (etiología), la población afectada, la gravedad de la deformación y tipo de curvatura.

ii. Ángulo de Cobb:

En el método Cobb, se dibujan dos líneas en una radiografía posteroanterior de la columna vertebral, una que se extiende desde la parte superior de la vértebra superior más inclinada (ápex superior) y la otra desde la parte inferior de la vértebra inferior más inclinada (ápex inferior). El ángulo formado por estas líneas es el ángulo de Cobb, como se muestra en la **Figura 2**.

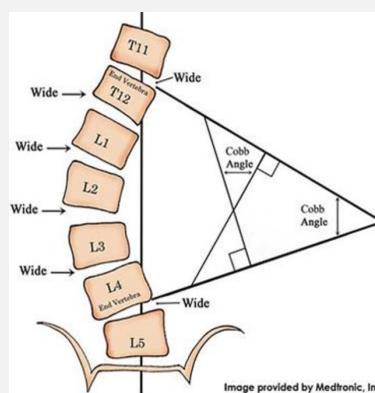


Figura 2: Obtenida de [4] Método manual para la medición del ángulo de Cobb en pacientes con escoliosis.

iii. Clasificación de Lenke:

El sistema de clasificación de Lenke está organizado según el tipo de curva (1-6) con un modificador torácico sagital y un modificador de columna lumbar (A, B, C). Las curvas estructurales se definen como aquellas que son de al menos 25°. Cuando hay múltiples curvas, se define a la curva más grande como la principal, mientras que las curvas menores se denominan estructurales. La base de este sistema de clasificación era determinar qué niveles vertebrales eran apropiados para una artrodesis.

Type	Curve	Proximal thoracic	Main thoracic	Thoracolumbar /lumbar
1	Main thoracic	Not structural	Structural*	Not structural
2	Double thoracic	Structural	Structural*	Not structural
3	Double major	Not structural	Structural*	Structural
4	Triple major	Structural	Structural*	Structural
5	Thoracolumbar/lumbar	Not structural	Not structural	Structural*
6	Thoracolumbar/lumbar-main thoracic	Not structural	Structural	Structural*

Lumbar spine modifier	Modifiers		
	CSVL to lumbar apex	Thoracic sagittal profile	
A	CSVL between pedicles	- (below normal)	< 10°
B	CSVL touches apical bodies	N (normal)	10°-40°
C	CSVL completely medial	+ (above normal)	> 40°

*Major curve; CSVL = center sacral vertical line.

Tabla 1: Obtenida de [5]. Clasificación de Lenke para la valoración de curvas dependiendo de la región y sus características.

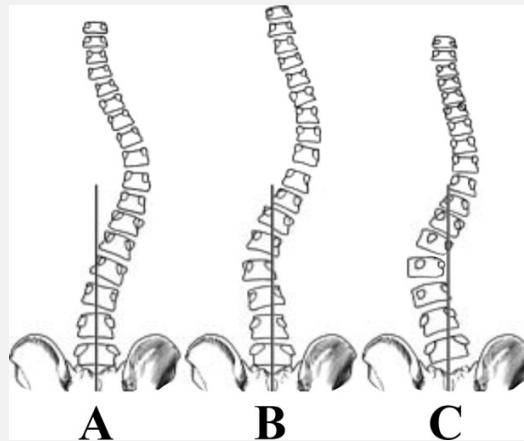


Figura 3: Obtenida de [5] A-C Modificadores lumbares de Lenke. (A) El tipo A tiene la línea vertical sacra central (CSVL) entre los pedículos del vértice lumbar. (B) El tipo B tiene la CSVL tocando el cuerpo vertebral apical.(C) El tipo C tiene la CSVL completamente medial al cuerpo vertebral.

El valor de confiabilidad de este sistema es variable y se requiere de una descripción completa de todos los tipos de curvas para permitir que el sistema tenga valor tanto para guiar las opciones de tratamiento como para futuras investigaciones sobre EIA [5].

iv. Clasificación de la escoliosis según etiología

De acuerdo a la etiología de la enfermedad, la escoliosis se puede clasificar en dos grandes grupos: la idiopática y la no idiopática.

- Escoliosis no idiopática: Se refiere al tipo de escoliosis cuya causa es conocida, esta se clasifica en:

1. Escoliosis congénita: Aunque no identificada durante el nacimiento, esta es desarrollada durante la adolescencia [1]. Los genes asociados al desarrollo de la enfermedad han sido identificados y reportados, por ejemplo, por Bulman *et. al.* en [6].
 2. Escoliosis neuromuscular: Esta es causada por insuficiencia de estabilizadores musculares activos de la columna, como en los casos de parálisis cerebral, atrofia muscular espinal, espina bífida, distrofias musculares y lesiones de la médula espinal [1].
 3. Escoliosis Mesenquimal: Esta es causada por insuficiencia de los estabilizadores pasivos de la columna [1], presente, por ejemplo, en casos de osteogénesis imperfecta, enfermedades inflamatorias o estado posoperatorio luego de una cirugía torácica como la realizada durante las cirugías de corazón abierto [1].
- Escoliosis idiopática: La escoliosis idiopática se identifica como aquella que no tiene una etiopatogénesis conocida. Igualmente se siguen los procedimientos del Test de Adams e imagenología por rayos X [2, 3, 7].

La escoliosis idiopática corresponde a un 80% de las deformidades estructurales coronales [3]. La escoliosis idiopática es clasificada, a su vez, por la etapa de vida al momento de la enfermedad, así pues tenemos la escoliosis infantil que abarca de 0 a 3 años, escoliosis juvenil desarrollada a la edad de 4 a 10 años y escoliosis adolescente para pacientes de 11 a 18 años.

a.2. Síntomas y diagnóstico para escoliosis idiopática:

Existen métodos de diagnóstico diferencial para poder determinar un caso de escoliosis como el Test de Adams aplicado en nuestro país, el cual consiste en hacer que el paciente lleve el tórax hacia adelante con los hombros paralelos, de modo que si se evidencia alguna disparidad en la altura de estos se detectará un caso de escoliosis [3, 7]. Se puede estimar el ángulo de Cobb a través de un instrumento llamado escoliometro [3, 7]. Luego, se hace pasar al paciente una serie de procedimientos diferenciales cuyo objetivo es encontrar la causa de la deformación, si esta no se encuentra pasado este proceso, se concluye escoliosis idiopática, es decir, se trata de un diagnóstico diferencial por exclusión, esta práctica se aplica en nuestro país [7], como en otras partes del mundo [2, 3]. Sin embargo, este no indica la gravedad real de la deformación por lo que es necesario realizar una radiografía anteroposterior del tórax, abdomen y pelvis [2, 7]. Con la imagen obtenida se procede a hacer la medición del ángulo de Cobb.

a. 3. Tratamientos disponibles para Escoliosis Idiopática del Adolescente:

Los tratamientos disponibles para la escoliosis pueden ser conservativos, como la terapia física y el uso de corsé, y no conservativos como la intervención quirúrgica. El tipo de tratamiento requerido depende del tipo y grado de la curva, la edad del niño o adolescente y los años de crecimiento que faltan hasta que alcance la madurez esquelética [8]. Adicionalmente, el tratamiento puede diferir según el enfoque de tratamiento de cada país [3].

i. Observación

Esta opción se emplea en los pacientes a los que todavía les queda crecimiento y que poseen una curva leve; en Estados Unidos se considera “leve” si es inferior a 20°, mientras que en la guía de práctica clínica del Perú para el tratamiento y diagnóstico de la EIA el rango aceptado para curvas leves es hasta los 25° [7]. Si solo se usa este método, el médico debe controlar la curva regularmente para ver que no empeora progresivamente. Se podría indicar un control cada 3 a 6 meses [8].

ii. Terapia Física

El objetivo de la fisioterapia es prevenir el agravamiento de la deformidad en casos leves (curvas menores a 25°) y mejorar el efecto de un aparato ortopédico. La terapia física consiste en una combinación de actividades deportivas prescritas y monitoreadas, además de cinesiterapia para aumentar la coordinación, la propiocepción espinal y el control del movimiento. Este tipo de tratamiento, como rehabilitación ambulatoria y hospitalaria, ha sido ampliamente recomendada como la primera línea de tratamiento para curvas pequeñas y aquellas con un bajo riesgo de progresión [3]. Algunos de los métodos más empleados para pacientes con escoliosis idiopática son:

- Ejercicio convencional: Incluye ejercicios respiratorios y posturales, ejercicios para flexibilizar la columna, estiramientos globales y ejercicios de fortalecimiento enfocados al tronco, pelvis, cintura escapular y los músculos del lado convexo de la curva.
- Método SEAS(Scientific Exercise Approach to Scoliosis): Se trata de un método de autocorrección tridimensional. Mediante los ejercicios de este método se pretende automatizar la posición más correcta posible del paciente y tratar de mantenerla durante las actividades diarias.
- Método Schroth: Este método está basado en dividir imaginariamente el cuerpo en bloques para explicar las deformidades y compensaciones presentes en el paciente escoliótico. Los ejercicios planteados se rigen por la autoelongación, desviación, desrotación, respiración rotacional y estabilización. Tiene como objetivo reducir el hundimiento del tronco en las áreas cóncavas de la curva así como las prominencias existentes en las zonas convexas.
- Ejercicios de estabilización o "core training": Este tipo de ejercicios consisten en mejorar la fuerza, resistencia y control neuromuscular de los músculos que nos permiten mantener la columna alineada y estable, por ejemplo: el transverso abdominal, recto anterior del abdomen, oblicuos interno y externo, etc.
- Método Klapp: Este método se centra en ejercicios realizados en posición de cuadrupedia, basado en la observación de animales cuadrúpedos, que no presentan desviaciones de la columna en el plano frontal, mientras que si lo hacen los seres humanos en bipedestación.
- Ejercicio orientado a la tarea: Se realizan los ejercicios convencionales de estiramiento, fortalecimiento, flexibilidad pero siempre con un foco externo al que prestar atención durante el ejercicio [9].

iii. Uso de elementos ortopédicos

Para curvas mayores a 25° se recomienda el uso de corsé con el objetivo de impedir que la curva escoliótica empeore. Hay varios tipos de corsé, la mayoría calzan debajo de los brazos, pero para que el aparato ortopédico tenga éxito, la curva existente debe conservarse por debajo de los 45° hasta que el paciente alcance la madurez ósea completa. Existen diversos tipos de corsé, sin embargo, los aparatos ortopédicos de Milwaukee, Wilmington, Spinecor y Boston parecen ser superiores a otros, aparentemente la inclusión de fuerzas adicionales al control tradicional basado en la técnica de los tres puntos de presión muestra una aproximación más sofisticada de la columna vertebral en crecimiento y su corrección [2].

El corsé debe usarse durante 18-23 horas al día en promedio. Para los pacientes con curvas de menos de 35° es recomendable el uso del corsé por un tiempo parcial o por la noche, mientras que para aquellos con curvas iguales o mayores de 35° se recomienda el uso a tiempo completo. Los aparatos ortopédicos deben continuar durante 18 a 24 meses luego del sexto mes que continua el final del crecimiento y desarrollo óseo [3], momento en el cual el riesgo de progresión de la curva y el riesgo de cirugía disminuyen considerablemente [2].

iv. Intervención quirúrgica

Si la curva es mayor a 45° y la persona aún está creciendo, el médico podría recomendar cirugía para conseguir la corrección de la deformidad. Generalmente, se realiza mediante la colocación de tornillos y barras en las vértebras implicadas, y con diferentes instrumentales se realiza la realineación. Se han mejorado las instrumentaciones en cirugía de columna y se consiguen mejores tasas de corrección. Además, la introducción de la monitorización neurofisiológica intraoperatoria ha añadido mayor seguridad durante las intervenciones para evaluar el estado de la médula durante el procedimiento [10].

Internacionalmente las guías de práctica clínica pueden variar levemente, en el Perú se indica la corrección quirúrgica si no hay respuesta al tratamiento ortopédico y si la progresión mensual de la curva es igual o mayor a 1°. Los criterios específicos para indicar un procedimiento quirúrgico son:

- Curvas >40° en niñas pre-menárquicas de baja madurez esquelética y post-menárquicas inmaduras esqueléticamente, cuya curva progresa, pese al uso de corsé.
- Curvas >30° asociadas a lordosis dorsal severa con diminución de volumen torácico.
- Curvas >50° en esqueleto maduro.
- Curvas >40° en varones menores a 16 años.
- Curvas entre 40-50° en esqueleto maduro, asociado a severa deformidad de tronco.

Se requiere de un equipo multidisciplinario que incluya la participación de un pediatra, cardiólogo pediátrico, neumólogo pediátrico, genetista o endocrino, neurólogo, fisoterapeuta y un hematólogo [7].

B. Análisis de los efectos (económico/social/personal-poniendo cifras con sus referencias):

b.1. Contexto económico:

i. Global:

Empezaremos desarrollando los costos asociados al tratamiento quirúrgico, el hecho de reconocer las variables que intervienen en los costos involucrados a este tipo de tratamientos como costo anual de tratamiento, hospitalización, del procedimiento y complicaciones ayudarían a dilucidar de mejor manera el impacto de estos procedimientos, permitiendo al personal de salud iniciar medidas que sean costo-efectivas.

En Estados Unidos en 2009, hubo más de 3600 altas hospitalarias para cirugías espinales para corregir EIA, donde se encontró que el costo total ascendió a aproximadamente 514 millones de dólares [11], siendo este tipo de procedimientos los segundos más caros luego de las intervenciones de apendicitis entre niños de 10 a 17 años [11].

Por otro lado, Bozzio *et. al.* reportaron que de una población de 6417 costos individuales en hospital fueron analizados para 42 casos consecutivos de EIA con una edad promedio de 15 años y ángulo de Cobb de 55° [12], de estos 39 pasaron por corrección únicamente posterior, mientras que 3 por procedimientos antero-posteriores [12] y el número de vértebras fue 8 en promedio. El cargo promedio del hospital fue de \$126,284, mientras que el costo promedio fue de \$44,126. El tiempo promedio de estadio en el hospital fue de 5 días con un costo promedio por día de \$8825 [12]. Los mayores contribuyentes sobre todo el costo hospitalarios fueron implantes espinales en 31% (\$13,679), y el trabajo del departamento cirugía en un 23% (\$10,093), la cama de cirugía en un 19% y los recursos relacionados al quirófanos en un 9%, tiempo en Unidad de Cuidado Intensivo (UCI) en un 6%, injertos óseos en un 3% y otros [12].

Además, [13] explora las diferencias entre la reducción de costos asociados al hospital cuando el paciente es dado de alta en un periodo de tiempo corto a comparación de variables

intraoperatorias bajo control del cirujano, y concluyeron que los costos asociados variables intraoperatorias como el uso de injertos óseos y tornillos para implantes que están bajo decisión del cirujano contribuye mucho más que un programa de alta rápida postoperatoria [13]. En ese sentido, es relevante tener en cuenta la experiencia del cirujano tratante, cuyas decisiones juegan un rol importante en variar los costos relacionados a cirugía, como menciona [7], muchos de los parámetros relacionados al tratamiento quirúrgico.

En un estudio de modelo de análisis de decisión se realizó para un menor de 10 años, femenino con una curva torácica de 35° con inmadurez esquelética, para evidenciar las diferencias de costo-utilidad entre la observación (aplicada para curvas menores a 25° [7]) y el corsé, y se concluyó que el uso del corsé estuvo asociado con un menor costo neto de vida (\$60,377 en corsé vs. \$85,279 con observación) y mayor índice de años de vida de calidad ajustado [14].

Sabemos que una de las maneras conservativas de tratar la escoliosis idiopática es el uso de corsé, estimar el costo asociado al diseño y manufactura de este tipo de tratamientos es complicado debido a las variaciones en cuenta al proveedor y región. De acuerdo a [15] el costo promedio de un corsé ronda entre \$2000-\$2300, sin contar costos asociados a modificaciones y ajustes para el adecuado acoplamiento al cuerpo.

Respecto del impacto de las condiciones socioeconómicas relacionadas al agravamiento de la enfermedad, no se aprecia relación directa entre estas variables [16, 17].

Analizando los costos asociados al manejo de la enfermedad “escoliosis” en el sistema de salud de Brasil estima que para el 2016, el costo total para manejo de pacientes con escoliosis fue de \$4,702,278, siendo el mayor contribuyente los costos a pacientes internos (que están en el hospital) de \$3,880,282 más asociado a costos hospitalarios, mientras que el manejo de los pacientes fuera fue de \$821,996. De hecho, en Brasil el Instituto Nacional de seguridad social donó más de 1 millón de dólares para beneficios por discapacidades a trabajadores del sector privado en 2008, la mayoría de ellos por desórdenes de la columna vertebral [18], lo que lleva a pensar que un manejo fuera del hospital puede ayudar a reducir los costos intrahospitalarios relacionados y también los gastos por discapacidad.

ii. Nacional/Regional:

Revisando tarifas en las distintas empresas de seguros encontramos a Rimac Seguros que nos ofrece una cirugía de corrección de deformidades vertebrales (escoliosis cifosis) a un precio con una cobertura máxima de S/6,493.50 [19]. Los costos relacionados a la cobertura de corsé solo es de 391.5 soles [19].

Según el tarifario puesto a disposición por el Hospital Nacional Cayetano Heredia los costos asociados para la detección de escoliosis para el 2017, considerando la tarifa hospitalaria, privada, SOAT, SIS, trabajador son para análisis de columna toracolumbar de pie son 32 y 26.64 soles para SOAT y SIS, no contempla otro tipo de tarifas, incluso la hospitalaria, mientras que para el análisis en columna torácica de pie es 40 soles solo para SOAT [20].

Los costos de cobertura relacionados a la aplicación de corsé en tarifario son de 23.00, 46.00, 44.00, 23.00 y 9.00 soles para cada uno de los tarifarios mencionados antes respectivamente. Mientras que el tarifario para corrección quirúrgica de columna es de 301.00, 602.00, 821.14, 265.64 y 120.00 [20]. De estos datos podemos observar que para los tratamientos relacionados a escoliosis el seguro SOAT es el que tiene los índices más altos de costo, mientras que el tarifario para persona afiliada a SIS suele ser menor, excluyendo el tarifario por trabajador.

Pocos estudios se han hecho con respecto a identificar la prevalencia real de la escoliosis idiopática en nuestro país y su posible relación con el estrato socioeconómico de los pacientes; sin embargo con el objetivo de aliviar esta falencia, para el año 2018 se diseñó un estudio

observacional, analítico y de corte transversal en 6 colegios de Lima Norte entre julio y septiembre de ese año con el fin de obtener la frecuencia de escoliosis idiopática adolescente [21]. Para esto se consideraron alumnos de 1º a 5º año de secundaria, es decir, entre 11 a 18 años. Se consideraron también diferentes sectores socioeconómicos en las categorías A2, B, B2, C1 y D [21]. El estudio contó con 191 pacientes, 62.30% varones, en 6 colegios relacionados según la clasificación del nivel socioeconómico. Los resultados relacionados al factor socioeconómico fueron: La mayor cantidad de casos positivos se obtuvo en el nivel socioeconómico C con 59,62% y le siguen el D con 19,23%, la B con 13,46% y finalmente la A con un 7,69% [21].

Además, pocos datos recopilatorios se encuentran debido a la deficiencia de la investigación respecto de la EIA en nuestro país.

b.2. Contexto social:

La escoliosis idiopática ocurre en jóvenes de 10 a 20 años, donde Lonstein y Carlson demostraron riesgos de progresión en función de la gravedad de las curvaturas en el momento de la detección precoz; el riesgo de progresión es del 10% para una curvatura de 5°, del 20% para una curvatura de 10°, del 80% para una curvatura de 20° y del 100% para una curvatura de 30° [22]. Cuando el ángulo de Cobb es menor a 40°, los pacientes se someten a tratamientos no quirúrgicos, según Weinstein, 61% de los pacientes sufren posteriormente de un dolor crónico en el espaldar que disminuye la calidad de vida del paciente [23]. Asimismo, en el 10% de los casos, el ángulo de Cobb supera los 40°, provocando problemas de salud como déficit pulmonar, incapacidad funcional, dolor de columna, trastornos psicológicos, problemas estéticos y una alteración de la calidad de vida, lo que restringe su actividad de soporte vital. Por lo anterior, el paciente se somete a una cirugía que es necesaria para casos graves de escoliosis, sin embargo, la cirugía puede provocar un trauma psicológico y cambios en el estilo de vida asociados con una estancia prolongada en el hospital y la pérdida de vínculos sociales [24]. Con ello, podemos afirmar que existe una correlación negativa entre la gravedad de la escoliosis y la calidad de vida del paciente.[25]

b.3. Personal:

Diversos estudios muestran que la EIA disminuye la función psicosocial y merma la autoestima [26,27,28]. Asimismo, la angustia psicológica que experimentan estos pacientes por lo general se atribuye a la aparición de la deformidad del tronco y la probabilidad de trastornos mentales y tendencias suicidas es alta. Sanders et al (2018) examinaron a 92 adolescentes, de los cuales el 32% presentaba trastornos psicológicos y emocionales como depresión y altos niveles de ansiedad [29].

Por otro lado, la calidad de vida de los pacientes con escoliosis idiopática está determinada en gran medida por la presencia del síndrome de dolor [30].

C. Análisis de las causas:

c.1. Diagnósticos Tardíos:

Según la Scoliosis Research Society la identificación temprana puede prevenir el desarrollo de esta deformidad como el dolor crónico y efectos negativos en la función cardiopulmonar. Un estudio acerca de la prevalencia en Noruega propone que la detección temprana es el factor más importante en la prevención de la progresión. Actualmente, existen diversos métodos para la detección de EIA como la prueba de Adams, el del escoliometro y la radiografía como el estándar [31].

Por otra parte, la escoliosis idiopática en adolescentes se comienza a manifestar a partir de los 10 años, siendo este tipo de escoliosis la más común al afectar entre 2 y 4% de los adolescentes entre 10 y 16 años . Debido a esta gran incidencia de casos es que actualmente la Academia Americana de Cirujanos ortopédicos, la Sociedad de Investigación en Escoliosis y la Sociedad Pediátrica Ortopédica de Norte América recomiendan que a las mujeres adolescentes entre 10 y 12 años se les realice dos veces al año una radiografía de columna, mientras que a los hombres de entre 13 y 14 años se les recomienda realizarse una radiografía de columna una vez al año. EUNidste tipo de radiografías ayudará a identificar a los pacientes cuyas necesidades requieren ser monitoreadas [32].

En caso la escoliosis idiopática no sea tratada a tiempo y se presente un caso muy grave el ángulo de Cobb podría alterarse desde $29^\circ \pm 11^\circ$ a $45^\circ \pm 21^\circ$, de acuerdo a un seguimiento realizado por 42 años a una población con escoliosis idiopática [33].

c.2. Falta de adherencia al Tratamiento ortopédico:

El uso de un aparato ortopédico rígido es el tratamiento conservador más efectivo que permite ralentizar o detener la progresión de la curva, se recomienda en curvas de entre 25° a 40° [7]. Sin embargo, para curvas superiores a 40° su efectividad es baja, donde el 15% de los pacientes con tratamientos ortopédicos termina sometiéndose a la cirugía [34]. Si bien, el tratamiento ortopédico impide la progresión de la curvatura hasta el umbral para la cirugía y presenta un mayor beneficio a mayor tiempo de uso de la ótesis [35], el paciente puede ser afectado física y psicológicamente, provocando que no cumpla con el tiempo de tratamiento prescrito por el médico. (baja adherencia), disminuyendo la efectividad del tratamiento.

En el Perú, el corsé de Boston y Milwaukee son extremadamente utilizados, y su tiempo de uso oscila entre los 18 y 20 horas por día [7], lo que provoca efectos físicos negativos en el torso del paciente debido a la alta presión de la ótesis. Entre ellos tenemos a la aparición de úlceras, cambio de color de piel, presión intragástrica y una disminución en la capacidad pulmonar total [36].

Asimismo, el tratamiento ortopédico se asocia con altos niveles de estrés y mala calidad de vida, debido a su material rígido que no permite la movilidad del paciente [37]. Matsunaga et al. obtuvieron que se produjo un aumento del 7.6% al 82.1% en el porcentaje de pacientes afectados de manera psicológica pasado 1 mes del inicio del tratamiento [36].

c.3. Falta de investigación, desarrollo e información sobre tratamientos contra la escoliosis idiopática:

Debido al poco conocimiento sobre la etiología de la escoliosis idiopática, se dificulta la investigación y desarrollo de tratamientos para esta deformidad. En el Perú, no se presentan datos estadísticos sobre esta deformidad con respecto al tipo de población, por lo que, dificulta conocer su incidencia y prevalencia a nivel nacional [38]. Por ende, se utilizan datos de países cercanos al contexto del Perú, no obstante, tanto en África como en Latinoamérica la información e investigación, en relación a la escoliosis, es escasa[39].

Actualmente, no se ha logrado determinar qué tipo de tratamiento (fisioterapéutico, ortopédico o quirúrgico) es el más eficaz, ya que el nivel de progresión de la curva en la columna varía en diferentes pacientes, por lo que, para su diagnóstico temprano, el médico se basa en los métodos convencionales, su previsión y su experiencia en el campo de la escoliosis [40]. Asimismo, solamente en el campo ortopédico se ha evaluado extensamente la eficacia del corsé tipo Milwaukee y Boston, no obstante, a comparación de otros aparatos ortopédicos que no presentan datos recopilados exhaustivos en amplios grupos de estudio aleatorizado comparar su eficacia sería inoportuna [41] .

c.4. Ausencia de métodos de monitoreo:

La ausencia de métodos de monitoreo por parte de los centro de salud para los pacientes con escoliosis idiopática se ve evidenciada en la “Guía Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de Escoliosis Idiopática”, 2018 elaborada por el Instituto de Rehabilitación del Niño de San Borja. En ese manual se detalla que el único método de monitoreo es el apersonamiento del paciente al centro de salud donde ha sido tratado, esto inclusive si el paciente no reside en Lima, lo cuál hace que su proceso de chequeo sea obstaculizado para él al mismo tiempo que debe invertir una suma de dinero para desplazarse hacia la capital de ser el caso. Sumado a ello es que uno de los métodos de monitoreo para los pacientes con postoperatorio de escoliosis idiopática es la cirugía de revisión la cual de ser aplicada resulta en un proceso bastante invasivo para el paciente [7].

c.5. Sobre tratamientos invasivos:

El tratamiento quirúrgico es un tratamiento prescrito para pacientes con ángulos de Cobb $>40^\circ$ [42]. Alrededor del 10% de los pacientes con EIA requiere cirugía de fusión y corrección [43]. Asimismo, Noshenko et al. informó que casi un tercio de los pacientes que se sometieron a un tratamiento con corsé rígido no lograron prevenir la progresión de la deformación, por lo que requirieron cirugía [44]. Si bien se considera como un tratamiento de prevención de la progresión, de la aceptabilidad de la autoimagen y de la reducción de la curvatura [45]; los cirujanos reportan complicaciones entre el 5% y el 25% de los casos [46]. Uno de los más destacados implicó la gran pérdida de sangre durante la cirugía, donde se encontró que alrededor del 25% de todos los pacientes con EIA recibieron transfusiones. Además, existe riesgo de progresión de la curva después de la cirugía. Luhmann et al. después de haber realizado 1057 fusiones vertebrales de EIA, encontraron que la operación era necesaria para el 4 % de los pacientes, donde el 26% de ellos tenían pseudoartrosis y el 34%, infección. Mediante la relación riesgo/recompensa del tratamiento quirúrgico podemos concluir que es desfavorable, debido a la alta tasa de reintervenciones, las complicaciones a largo plazo y el retorno regular de la deformidad [47]. Finalmente, se obtuvo que el 40% de los pacientes sometidos a procedimientos quirúrgicos se definieron legalmente como gravemente discapacitados [48].

c.6. Falta de personal médico especialista en escoliosis idiopática:

La escoliosis idiopática al ser una deformación vertebral sin causa conocida, presenta un complejo mecanismo fisiopatológico, al igual que su nivel de evolución o progresión en el paciente [49]. Por ende, los médicos generales derivan al paciente a tratamientos con traumatólogos y ortopedistas especialistas en escoliosis. Sin embargo, según el Compendio Estadístico: Información de Recursos Humanos del Sector Salud Perú 2013 - 2021, en el Perú, solo se encuentran disponibles 509 traumatólogos y ortopedistas, de los cuales la mayoría no son especialistas en escoliosis [50]. Asimismo, para realizar el tratamiento quirúrgico, es necesario la presencia de un equipo de neurocirujanos especializados, no obstante, solo se encuentran disponibles 158 [50], por lo que, la eficacia del tratamiento disminuye al no tener equipo adecuado que evite complicaciones durante la cirugía.

c.7. Elitización-centralización de los centros de atención especializados en escoliosis idiopática:

En el Perú la cirugía para la corrección de escoliosis idiopática gestionados por el gobierno únicamente se realiza en los centros de salud de mayor nivel resolutivo del país, es decir en el Hospital Nacional Edgardo Rebagliati y en el Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen [51], además del Instituto Nacional de Salud del Niño gracias a un convenio firmado entre esta entidad y EsSalud en 2018 [52] se asegura ser el primer centro de atención para los casos que requieran cirugía para casos infantil, juvenil y adolescente. A estos centros de salud

se les debe agregar a la Clínica San Juan de Dios, la cual realiza esta intervención quirúrgica de manera particular [53]. Esto demuestra que el acceso a una cirugía para la corrección de escoliosis idiopática resulta ser bastante centralizada ya que una persona que no residente en Lima se ve forzada a desplazarse hasta la capital para realizar la cirugía correctiva, con lo cual necesita realizar una inversión tanto de tiempo como económica. Además resulta en una elitización ya que solo 4 centros de salud en todo el país se encargan de la cirugía para la escoliosis idiopática, lo cual hace inaccesible el correcto tratamiento de los casos más graves de escoliosis, por lo que la disponibilidad de tratamiento quirúrgico para un amplio número de pacientes es ineficiente. Ningún estudio se ha realizado sobre la cantidad de cirugías relacionadas a escoliosis idiopática, la frecuencia de las intervenciones y los resultados a largo plazo se han hecho en nuestro país según la bibliografía revisada.

D. Prevalencia y/o cifras relevantes a nivel nacional e internacional: [Joao]

- Global:

A nivel internacional existe un consenso que permite identificar un caso de escoliosis como tal, y es que se tiene que observar un ángulo de Cobb mayor a 10° [1]. Partiendo de esa premisa, varios estudios alrededor del mundo se han llevado a cabo con la intención de establecer una prevalencia general que pueda ayudar a ver el impacto de la enfermedad en la sociedad. La EIA afecta al 1 a 3% de la población entre 10 a 16 años en riesgo de desarrollo de la curvatura [3].

La escoliosis idiopática representa el 80% de todos los casos de escoliosis diagnosticados [54]. La principal dificultad que se halló al momento de tratar de encontrar una prevalencia absoluta es que los métodos usados de diagnóstico de escoliosis varían dependiendo de la región de estudio, de esta manera se obtienen diferentes valores de prevalencia. Se consideran factores epidemiológicos a: género, edad, raza o genética.

Respecto a la prevalencia de la enfermedad, según un estudio de revisión se muestra que la prevalencia de la escoliosis idiopática del adolescente, varía entre un 0.47 a 5.2% [1]. La data que se obtuvo en [1] (estudio en escolares en distintos países para identificar la prevalencia de escoliosis idiopática) respecto a factores como edad y género ayudan a dilucidar ciertas conclusiones tales como que la prevalencia en la población femenina es mayor respecto de la masculina en todas las edades y en diferentes regiones geográficas, esto es independiente de otros factores como el de raza/factores genéticos, como se muestra a continuación:

Table 1 Detailed data of school screening studies

Study	Country	Children	Girls	Boys	Age (years)	Prevalence combined (%)	Prevalence girls %	Prevalence boys %
Kamtsiuris	Germany	17,641	8,656	8,995	0–17	5.2	6.0 11–13 years: 8.3 14–17 years: 13.5	4.4 11–13 years: 5.0 14–17 years: 9.0
Daruwalla	Singapore	110,744	60,167	50,577	6–7 11–12 16–17	1.0	6–7 years: 0.15 11–12 years: 1.67 16–17 years: 3.12	6–7 years: 0.10 11–12 years: 0.44 16–17 years: not tested
Wong	Singapore	72,699	37,141	35,558	6–7 9–10 11–12 13–14	0.59	6–7 years: 0.05 9–10 years: 0.24 11–12 years: 1.37 13–14 years: 2.22	6–7 years: 0.02 9–10 years: 0.15 11–12 years: 0.21 13–14 years: 0.66
Nery	Brasil	1,340	684	656	10–14	1.4	1.98	0.87
Suh	Korea	1,134,890	550,336	584,554	10–12 13–14	3.26	4.65	1.97
Cilli	Turkey	3,175	1,538	1,637	10–15	0.47	0.65	0.31
Soucacos	Greece	82,901	40,962	41,939	9–14	1.7	2.6	0.9

Tabla 2. Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis, Current Concept Review, Table 1, Markus Rafael Konieczny, Hüsseyn Senyurt, Ruđiger Krauspe, 2012 [1].

Un resultado interesante que contrasta lo propuesto por [21] es el estudio de Kamtsiuris en Alemania el año 2007 donde se concluyó que el estatus social y su calidad de vida asociada no presentaron un factor determinante para la aparición de la AIS [55].

Además, se ve que el porcentaje de prevalencia tiende a aumentar conforme aumenta la edad del paciente. Siendo la más afectada la población femenina, donde esta llega hasta de 7.2 casos en mujeres por cada caso en varones para curvas mayores 40° [1], como se muestra a continuación:

Table 2 Prevalence and female to male ratio of different Cobb angles

Cobb angle of curve	Prevalence (%)	Female:male ratio
11°–20°	1.5–3	1.4:1
21°–40°	0.2–0.5	2.8–5.4:1
>40°	0.04–0.3	7.2:1

Tabla 3. Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis, Current Concept Review, Table 2, Markus Rafael Konieczny, Hüsseyn Senyurt, Ruđiger Krauspe, 2012 [1].

- Regional:

García et al. observaron que la escoliosis idiopática adolescente (EIA) representa el 85% de los casos de escoliosis en Chile y afecta entre el 1% a 3% de los adolescentes, siendo los casos graves considerados una patología de resolución quirúrgica con garantías explícitas, en el

sistema de salud chileno. Además, ratifican la eficiencia del tratamiento con corsé, indicando que hay un nivel de evidencia alto (1B) para detener progresión de la curva [56].

En Guayaquil (Ecuador) se realizó una investigación donde se analizaron 272 casos de los cuales 195 fueron diagnosticados con escoliosis idiopática juvenil, de estos 68% fueron niñas y 32% fueron niños. Referente a la edad de mayor incidencia en EIA es 14 años. Respecto al tratamiento que reciben estos pacientes un 68% de los casos se basa en terapia física y natación [57].

Sin embargo, si la enfermedad progresiona y el ángulo de Cobb supera los 45° se recomienda un tratamiento quirúrgico. Un estudio tipo serie de casos donde se incluyeron pacientes operados entre 2011 y 2017 en Montevideo, Uruguay, halló que el 25,6% de los pacientes presentaron complicaciones, siendo la más frecuente la infección [58].

- Nacional

El gobierno regional del Callao realizó un análisis situacional de salud en el Hospital de Rehabilitación del Callao, donde se determinó que durante el año 2018, en el grupo etario de 12 a 17 años, la prevalencia dentro de las diez primeras Morbilidades es "Escoliosis, no especificada" con 146 casos, la segunda más prevalente es "Trastorno del desarrollo de las habilidades escolares" con 121 casos y en tercer lugar se encuentra "Trastorno de la conducta, no especificado" con 108 casos [59].



Figura 4. Gráfica de barras sobre las diez primeras causas de morbilidad en el grupo 12-17 años [59].

En Lima Norte la frecuencia de escoliosis idiopática del adolescente fue del 27,23 %, resultado obtenido a partir de un estudio donde se incluyeron 191 participantes: 119 varones y 72 mujeres. Los hombres representaron el 86,56 % de los resultados positivos y la edad promedio de los participantes fue 14 años [60].

Para poder justificar el impacto que tiene la escoliosis en el Perú, y al mismo tiempo el futuro impacto que tendrá una alternativa de solución propuesta por el equipo se tuvo que realizar una búsqueda más profunda en el REUNIS [61] (Repositorio Único Nacional de Información en Salud administrado por el Ministerio de Salud del Perú). Para estos propósitos se pudo acceder a "datos crudos" en la sección de morbilidad [62], considérese el hecho de padecer cierta sintomatología o estar la categoría de "no sano" durante un periodo de tiempo y espacio determinados. Entonces, en esta categoría encontramos la categoría dorsopatías (afección de la columna vertebral) y datos clasificados (aunque no cruzados como se esperaría en la medida de lo ideal) según región, departamento, género, edad del paciente, etc, y el factor de conteo es el

número de personas atendidas en cada categoría. De lo cual se quiso clasificar la aparición de la enfermedad escoliosis por sí misma siguiendo los filtros de región, etapa de vida y género a través del tiempo durante los últimos 4 años, los resultados fueron los siguientes:

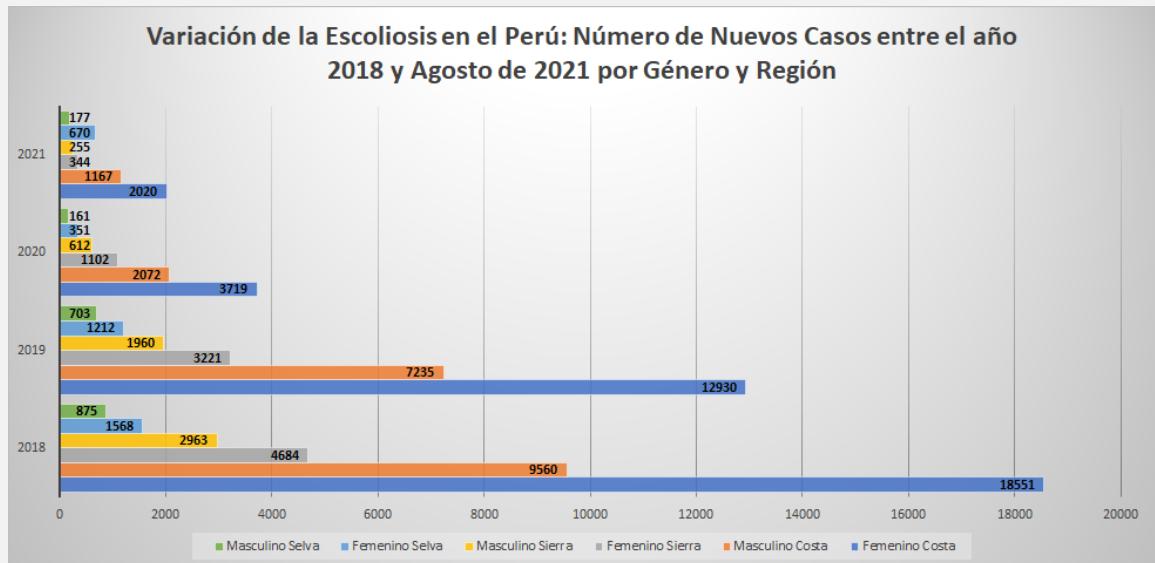


Figura 5. Fuente: Elaboración Propia. Fuente de la data: [61] REUNIS. Repositorio Único Nacional de Información en Salud - Ministerio de Salud.

Se concluye que la enfermedad ha tenido un decremento en el número de nuevos casos, tanto en la población femenina como en la masculina durante los últimos 4 años, esto implica además la disminución en el número de nuevos casos por género en el mismo periodo de tiempo.

Se mantiene en todo momento el número de casos atendidos con mayor frecuencia en la región costa.

Por último si queremos ver la variación en porcentaje de la incidencia de la enfermedad clasificado por género, y región obtenemos:

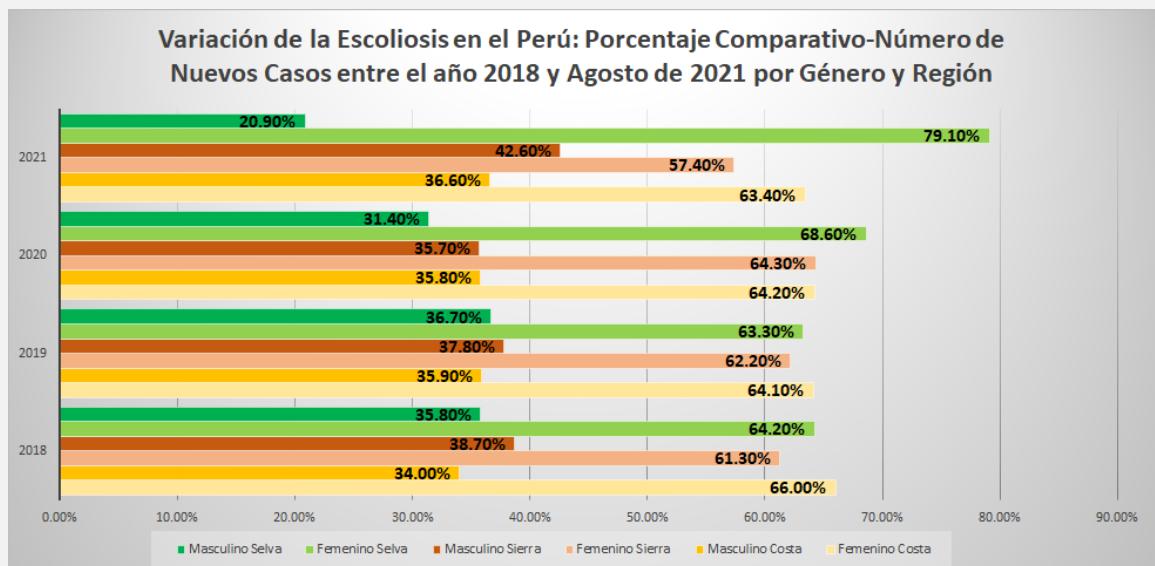


Figura 6. Fuente: Elaboración Propia. Fuente de la data: [61] REUNIS. Repositorio Único Nacional de Información en Salud - Ministerio de Salud.

Por lo tanto se comprueba, de acuerdo a la literatura, que la población más afectada a lo largo del tiempo y de manera constante, es la población femenina. Así pues, el porcentaje en cada región y a través del tiempo respecto del número de casos totales en esa región y en ese periodo de tiempo se mantiene, para todos los casos, entre un 60 a 79% para la población masculina, frente a un 20 a 39% de los casos totales en la población masculina.

1.2 Planteamiento del problema:

a. Entendiendo el problema:

Luego de analizar la epidemiología y el impacto social, económico y personal de la escoliosis idiopática, procedemos a plantear preguntas que consideramos oportunas para establecer un problema visto desde distintos ángulos. Así pues, por recomendación explícita de nuestro asesor se siguió un debate en grupo para responder las preguntas que ayuden a profundizar en la importancia del problema para luego plantear tres conceptos que abordan este problema desde perspectivas distintas de solución, par esto se usó la herramienta: Preguntas preparatorias que se muestra a continuación:

Preguntas preparatorias (Adaptar las preguntas al contexto del problema y responderlas en grupo)					
¿Cuál?	¿Por qué?	¿Quién?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Cómo?
¿Cuál es el problema?	¿Por qué esto es un problema?	¿Quién tiene este problema?, ¿Quién tiene una necesidad?	¿Cuándo ocurre el problema?	¿Dónde ocurre el problema?	¿Cómo se viene resolviendo el día de hoy?
Falta de una alternativa de tratamiento no invasivo para controlar la progresión de la curva en pacientes de EIA.	El paciente se somete a tratamientos quirúrgicos que presenta complicaciones médicas y psicológicas.	Adolescentes de 12 a 17 años. Traumatólogos Ortopedistas	Cuando los especialistas de salud determinan los parámetros del tratamiento y del diseño del dispositivo.	En la vida diaria. En los hospitales e institutos nivel 4 o en clínicas privadas que cuentan con los especialistas.	Tratamiento conservativos basado en corsés rígidos y tratamientos fisioterapeúticos.
Definición del problema					
Como podríamos nosotros [¿que?] desarrollar un sistema biomecánico que sirva como alternativa a los métodos tradicionales de tratamiento ante la EIA para así poder evitar la progresión de la curva en pacientes de EIA que sea de fácil manejo y que pueda realizar el monitoreo al paciente	Como podríamos nosotros [¿que?] diseñar un sistema no invasivo que permita la movilidad del paciente para no interferir en su vida diaria y aumentando la adherencia	Como podríamos nosotros [¿que?] Diseñar una alternativa de monitoreo que sea capaz de monitorear el tratamiento del paciente			
para [¿quien?] los adolescentes diagnosticados con escoliosis idiopática en etapa moderada	para [¿quien?] las ortopédicas locales o diseñadores de órtesis	para [¿quien?] que los fisioterapeutas/tratamatólogo y ortopedista			
tal que [¿sus necesidades?] puedan mejorar su calidad de vida y que puedan confiar en el tratamiento	tal que [¿sus necesidades?] la personalización del diseño de la ortopedia, dependiendo de las necesidades especiales del paciente, sea más sencillo gracias a los materiales usados para su manufactura.	tal que [¿sus necesidades?] los datos cuantitativos sean útiles para evaluar el progreso real del tratamiento del paciente			
tomando en cuenta que la funcionalidad de los métodos no invasivos actuales es bastante limitada y afectada por la disponibilidad de material/personal y que en nuestro país se basa en solo un tipo de corsé (Boston) de los muchos que hay actualmente.	tomando en cuenta que los casos moderados de EIA necesitan de la intervención de las ortopédicas para obtener tratamiento.	tomando en cuenta que actualmente uno de los mayores problemas de los pacientes con EIA y sus proveedores de salud es la ausencia de datos cuantitativos y que la evaluación de la efectividad real del tratamiento depende mucho de la sinceridad del paciente.			

Tabla 4. Preguntas preparatorias.

De esta manera, logramos obtener tres perspectivas interesantes para abordar el problema que se complementan entre sí, basadas en sistemas mecatrónicos, materiales textiles para un interfaz cuerpo/dispositivo y un sistema de monitoreo.

Antes de definir el problema al cual orientaremos nuestra solución, fue necesario plantearnos algunas preguntas para comprender el contexto en el que se desarrolla dicho problema y la complejidad del mismo. Basándonos en la herramienta **5WH**, se realizaron las preguntas: ¿Cuál es el problema?, ¿quién está involucrado?, ¿cuándo el problema se vuelve una necesidad?, ¿dónde ocurre?, ¿por qué es importante?, ¿cómo beneficiaría la solución del problema?. entre otras que se muestran a continuación:

What?	Who?	When?	Where?	Why?	How?
¿Cuál es el problema?	¿Quién está involucrado?	¿Cuándo el problema se vuelve una necesidad para los involucrados?	¿Dónde ocurre el problema?	¿Por qué este problema es importante?	¿Cómo beneficiaría a los involucrados si el problema llegara a resolverse?
Falta de una alternativa de tratamiento no invasivo para controlar la progresión de la curva en pacientes con escoliosis idiopática.	Familia del paciente, Personal médico: Traumatólogo, Fisioterapeuta, Ortopedista, Neurocirujano, Cirujano de columna	Cuando el paciente presenta un riesgo de desarrollo rápido de la progresión de la deformación	En la vida diaria. En los hospitales e institutos nivel 4 o en clínicas privadas que cuentan con los especialistas.	El paciente se somete a tratamientos quirúrgicos que presenta complicaciones médicas y psicológicas.	Con la resolución del problema, el paciente puede evitar llegar a un tratamiento quirúrgico que empeore su calidad de vida. Asimismo, puede evitar la progresión de la curvatura y mejorar su adherencia con el tratamiento. También, los médicos especializados pueden obtener un seguimiento más seguro sobre el progreso del paciente.
¿Qué es lo que se conoce del problema?	¿Quién es el afectado por el problema?	¿Cuándo los involucrados son conscientes del problema?	¿Dónde se resuelve actualmente?	¿Por qué ocurre este problema?	¿Cómo podría resolverse?
Población mayoritariamente mujeres. El tratamiento ortopédico se aplica solo en curvas moderadas. La disponibilidad de tratamiento quirúrgico (casos graves) y ortopédico(moderado) es limitada.	Directamente el paciente adolescente de 12 a 17 años que sufre escoliosis idiopática	Cuando el paciente no puede acceder a un tratamiento no invasivo que se ajuste a sus necesidades. Cuando, al realizar el tratamiento, se dan cuenta que no es efectivo, en términos de grado de corrección y adherencia.	En el Perú, actualmente, no se ha conocido un lugar que haya realizado una nueva alternativa de solución a este problema. Al día de hoy, las órtesis rígidas y flexibles para el tratamiento de escoliosis idiopática son importadas del extranjero hasta los institutos y clínicas especializadas en deformidades	Porque los tratamientos no invasivos como la órtesis rígida afecta psicológicamente al paciente, y a la vez, afecta su calidad de vida, ya que no permite el libre movimiento de su columna. Además, no se presentan soluciones tecnológicas que complementen al tratamiento no invasivo(ortopédico) y que presenten datos cuantitativos sobre el cumplimiento diario del tratamiento en el paciente.	Desarrollando una dispositivo ortésico dinámico de material textil que ajuste automáticamente las fuerzas en los puntos claves dde la curvatura y que controle el tiempo de uso de la órtesis en el paciente.
¿Qué es lo que se conoce del problema?	¿Quién es el afectado por el problema?	¿Cuándo los involucrados son conscientes del problema?	¿Dónde se resuelve actualmente?	¿Por qué ocurre este problema?	¿Cómo podría resolverse?
Población mayoritariamente mujeres. El tratamiento ortopédico se aplica solo en curvas moderadas. La disponibilidad de tratamiento quirúrgico (casos graves) y ortopédico(moderado) es limitada.	Directamente el paciente adolescente de 12 a 17 años que sufre escoliosis idiopática	Cuando el paciente no puede acceder a un tratamiento no invasivo que se ajuste a sus necesidades. Cuando, al realizar el tratamiento, se dan cuenta que no es efectivo, en términos de grado de corrección y adherencia.	En el Perú, actualmente, no se ha conocido un lugar que haya realizado una nueva alternativa de solución a este problema. Al día de hoy, las órtesis rígidas y flexibles para el tratamiento de escoliosis idiopática son importadas del extranjero hasta los institutos y clínicas especializadas en deformidades	Porque los tratamientos no invasivos como la órtesis rígida afecta psicológicamente al paciente, y a la vez, afecta su calidad de vida, ya que no permite el libre movimiento de su columna. Además, no se presentan soluciones tecnológicas que complementen al tratamiento no invasivo(ortopédico) y que presenten datos cuantitativos sobre el cumplimiento diario del tratamiento en el paciente.	Desarrollando una dispositivo ortésico dinámico de material textil que ajuste automáticamente las fuerzas en los puntos claves dde la curvatura y que controle el tiempo de uso de la órtesis en el paciente.
¿Qué es lo que nos gustaría conocer?	¿Quién es el que toma decisiones?	¿Cuándo se determina las alternativas de solución para este problema?	¿Dónde ocurren situaciones similares?	¿Por qué todavía no se ha resuelto?	¿Cómo este problema ha tratado de resolverse antes?
Cual es el tipo de población mas común en nuestro país, y en que etapa de la enfermedad se encuentra cuando van a consultar a su consultorio por primera vez. Oportunidades de mejora relacionada a los tratamientos disponibles (conservativo y no conservativo).	El paciente(cuando decide colocarse la órtesis), la familia del paciente, Personal médico: Traumatólogo, Fisioterapeuta, Ortopedista, Neurocirujano, Cirujano de columna	Cuando los involucrados se dan cuenta que el tratamiento no logra detener o ralentizar la progresión de la curvatura. Cuando el paciente no sigue el tratamiento indicado.	En los hospitales y clínicas especializadas en deformaciones vertebrales del resto del mundo, especialmente, en Latinoamérica y en países cercanos al contexto del Perú.	Porque la escoliosis es una deformación compleja y sin causa conocida, por lo que, en el Perú, existen escasos estudios sobre el nivel de eficacia de cada tipo de tratamiento sobre la escoliosis.	Tratamiento conservativos basado en corsés rígidos y tratamientos fisioterapéuticos.
¿Qué se está haciendo actualmente con respecto a este problema?	¿Quién/es serían los principales beneficiarios si se resuelve el problema?	¿Cuándo el problema no resuelto se convierte en un problema mayor?	¿Dónde se podría resolver?	¿Por qué este problema representa una necesidad?	¿Cómo este problema puede volverse una oportunidad?
A fin de evitar intervención quirúrgica se usa tratamiento con corsé. Muchos avances tecnológicos se basan en la medida de tiempo de uso del dispositivo ortésico, uso de materiales textiles para incrementar la adherencia, implementación de sistemas mecánicos o electrónicos para emular el efecto de órtesis rígidas sobre el cuerpo.	Los adolescentes de entre 12 a 17 años con escoliosis idiopática y los médicos especialistas encargados del monitoreo del paciente	Cuando el paciente presenta un mayor avance en su curvatura que no se puede corregir mediante un tratamiento no invasivo. Debido a ello, el paciente que se somete a un tratamiento quirúrgico obligatoriamente puede presentar una gran pérdida de sangre, infecciones, lesiones neuronales,etc. durante la operación. .	En instituciones médicas y clínicas especializadas que cuentan con investigadores y especialistas capaces de brindar una alternativa de solución.	Porque aumenta la posibilidad de que el involucrado se someta a un tratamiento quirúrgico (invasivo) que afecte a su calidad de vida	Nos da la oportunidad de crear nuevas opciones de tratamiento no invasivos basados en una corrección automática mediante herramientas electrónicas y digitales. Asimismo, con la solución, se puede obtener un seguimiento de la adherencia del paciente con el tratamiento

Tabla 5. 5 WH.

De las respuestas que se obtuvieron destacamos aquellas que consideramos más relevantes dentro del proceso de identificación y planteamiento del problema. Las ideas más destacadas son:

- La población más afectada se encuentra en la etapa adolescente, mayoritariamente mujeres, en donde se presenta un desarrollo más rápido de la progresión de la curva.
- Los tratamientos no invasivos son necesarios, a fin de evitar las complicaciones de los tratamientos quirúrgicos que afectan la calidad de vida del paciente. Sin embargo, su bajo desarrollo para la comodidad y corrección de la curvatura, no permite que el paciente cumpla con lo indicaciones de su tratamiento.
- Se denota la ausencia de información e investigación sobre la escoliosis idiopática. Esto afecta a la capacidad de desarrollo médico de los tratamientos no invasivos para mejorar su adherencia.

Se realizaron entrevistas exploratorias a los médicos cirujanos Ismael Iparraguirre y Edgar Morales Vásquez, especialistas en cirugía de columna de pacientes con Escoliosis Idiopática, al médico traumatólogo Diego Raúl Ramírez Montalbán y a una paciente anónima. Estas entrevistas nos permitieron conocer aspectos del problema que no se habían contemplado con anterioridad.

Nombre del entrevistado:	Andrea Lines		
Fecha y lugar:	El 3 de setiembre del 2022 en Bellavista, Callao Andrea es una paciente de escoliosis idiopática, fue diagnosticada cuando era adolescente.		
Contexto:			
Introducción (preguntas para romper el hielo)			
¿Cuál es su nombre y qué edad tiene?	Mi nombre es Andrea y tengo 32 años.	¿De dónde es? ¿Ha vivido ahí toda su vida?	Vivo en el Callao.
¿Qué le gusta hacer en sus ratos libres?	No tengo mucho tiempo de distracción, el trabajo es pesado. Los fines de semana, por lo general, paseó con mi novio y mi perro. No tengo mucha actividad física.		
¿A qué se dedica?	Actualmente, trabajo en el sector público.		
Preguntas centrales (para entender las esperanzas, miedos y motivaciones de los entrevistados)			
¿Ha tenido alguna dificultad en su salud en el transcurso de los años?	Tenía dolor de espalda, cansancio, contracturas y de hecho soy más propensa de que a partir de una pequeña torcedura, el dolor se agudize y se forme un esguince.	¿Cuándo le dieron el diagnóstico? ¿qué pruebas le hicieron?	Cuando era adolescente me tomaron unas placas y encontraron una desviación ligera y con los años se fue agudizando, por eso es que hago terapias frecuentemente para que el dolor no se agudize
¿Qué tratamiento le recomendaron al momento de su diagnóstico?	En su momento, tratamiento fisioterapéutico.	Desde su punto de vista, ¿cuánto aproximadamente le costó el tratamiento hasta en total?	1500 por año, 400 mensuales para el tratamiento fisioterapéutico. Además, cuando hay dolor tengo que tomar pastillas.
¿Alguna vez le recomendaron el tratamiento ortopédico, con corsé?	Sí, me recomendaron el uso de un corsé. Lo usé por un tiempo, después ya no, porque era muy incómodo.	¿La escoliosis le ha afectado psicológicamente?	Sí, me causa incomodidad, pero bueno, creo que la mente es poderosa, igual trato de hacer mi vida normal.
¿Ha escuchado hablar acerca del tratamiento por cirugía?	Sí, pero no he investigado mucho sobre la cirugía.		
¿Le han hecho un monitoreo y considera que estos son necesarios?	Sí, me he hecho otras placas y sale la curvatura igual. Claro, para que puedan ver si esta avanza o no, darles algunas		
¿Ha tenido dificultad para acceder al tratamiento médico o a los especialistas?	No he tenido ninguna dificultad.	¿Has progresado favorablemente? cuál era su ángulo de Cobb al inicio y ahora?	encorvada, no ha avanzado tanto, se ha mantenido sin contar el dolor.
Conclusión			
¿Qué potencial cree que tendrá un corsé hecho a base de tela que permite la movilidad y ajuste las fuerzas?	De hecho, creo que es bastante bueno, pero me resulta incómodo, creo que ya es un tema personal, me siento un poco ajustada, tengo que estar demasiado erguida, pero sé que ayuda bastante porque te ayuda a mantener la postura recta y evitar la encurvatura.		

Tabla 6. 5 Entrevista exploratoria.

Podemos reconocer que el paciente tiene una vida sedentaria con presencia de dolor espaldar hasta el día de hoy, lo que no le permite realizar su actividad diaria como desearía. También se reconoce su falta de adherencia con el tratamiento, debido a la incomodidad del tratamiento ortopédico. Finalmente, denotamos que el usuario fue diagnosticado en su etapa adolescente, lo que demuestra la falta de accesibilidad a los métodos de diagnóstico y tratamientos.

Entrevista al doctor Edgar Morales Vásquez: [Anexo 1]

Subsiguientemente, es vital considerar a todos los stakeholders involucrados en el cuidado del paciente y que lo acompañan durante su “viaje” a través de la enfermedad, para esto se desarrolla el mapa de interesados, actores que pueden tener interés en que se desarrolle una nueva tecnología que atienda sus posibles necesidades, en esta oportunidad, para el uso de la herramienta: **Mapa de interesados**, tendremos al paciente como eje principal, y obtuvimos:

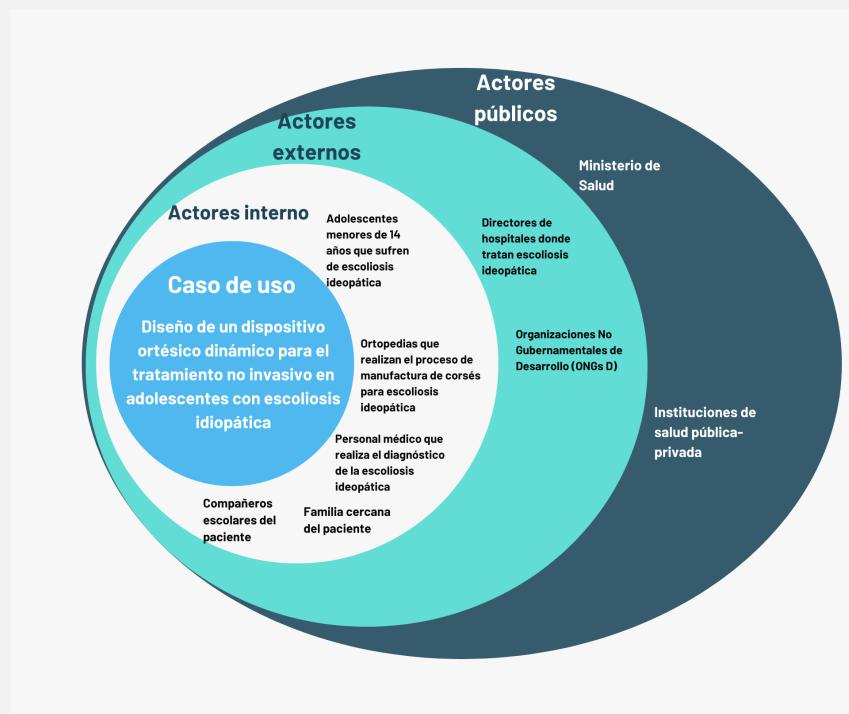


Figura 7. Mapa de interesados.

De aquí podemos ver que nuestro principal eje es el paciente y procederemos a evaluar a los actores que se encuentran alrededor de este, desde un punto más cercano hasta actores que no se encuentran relacionados con el directamente. De esto podemos obtener que de manera más interna a nuestro caso de uso, tenemos a nuestro paciente, los proveedores de tratamientos basados en corsé del tipo conservativo, de manera más temprana, los profesionales médicos que realizan el diagnóstico de la enfermedad, esto luego de haber revisado el contenido de [7]. La familia es un factor importante a tener en cuenta puesto que son los que proveerán soporte emocional, psicológico e incluso económico en todo el viaje del paciente a través de los estadios de la enfermedad, además de que tienen la capacidad de influir en gran medida en muchas de las decisiones del paciente e incluso de tener la potestad de aceptar o rechazar una alternativa de tratamiento. Como actores externos ponemos a las IPRESS (Instituciones Prestadora de Servicios de Salud) que son el centro donde el paciente muchas veces hará el diagnóstico, tratamiento y seguimiento, y en el mejor de los casos evitar la cirugía y determinar una tratamiento exitoso, por tanto la injerencias económicas que el estadio dentro del hospital signifique respecto del paciente es un sector a tener en cuenta de modo que el hospital pueda atender a más pacientes en un menor periodo de tiempo. Colocamos además algunas ONG que se encargan de facilitar el acceso a, por ejemplo, tratamientos quirúrgicos y se forma un conglomerado de gente afectada por la misma enfermedad, es decir, se genera un sentido de pertenencia a grupo por parte del paciente. Y finalmente colocamos entidades públicas o privadas que tienen una relación indirecta con el manejo del paciente, y en general de todos los pacientes. Para complementar esto presentamos un mapa de viaje del paciente:

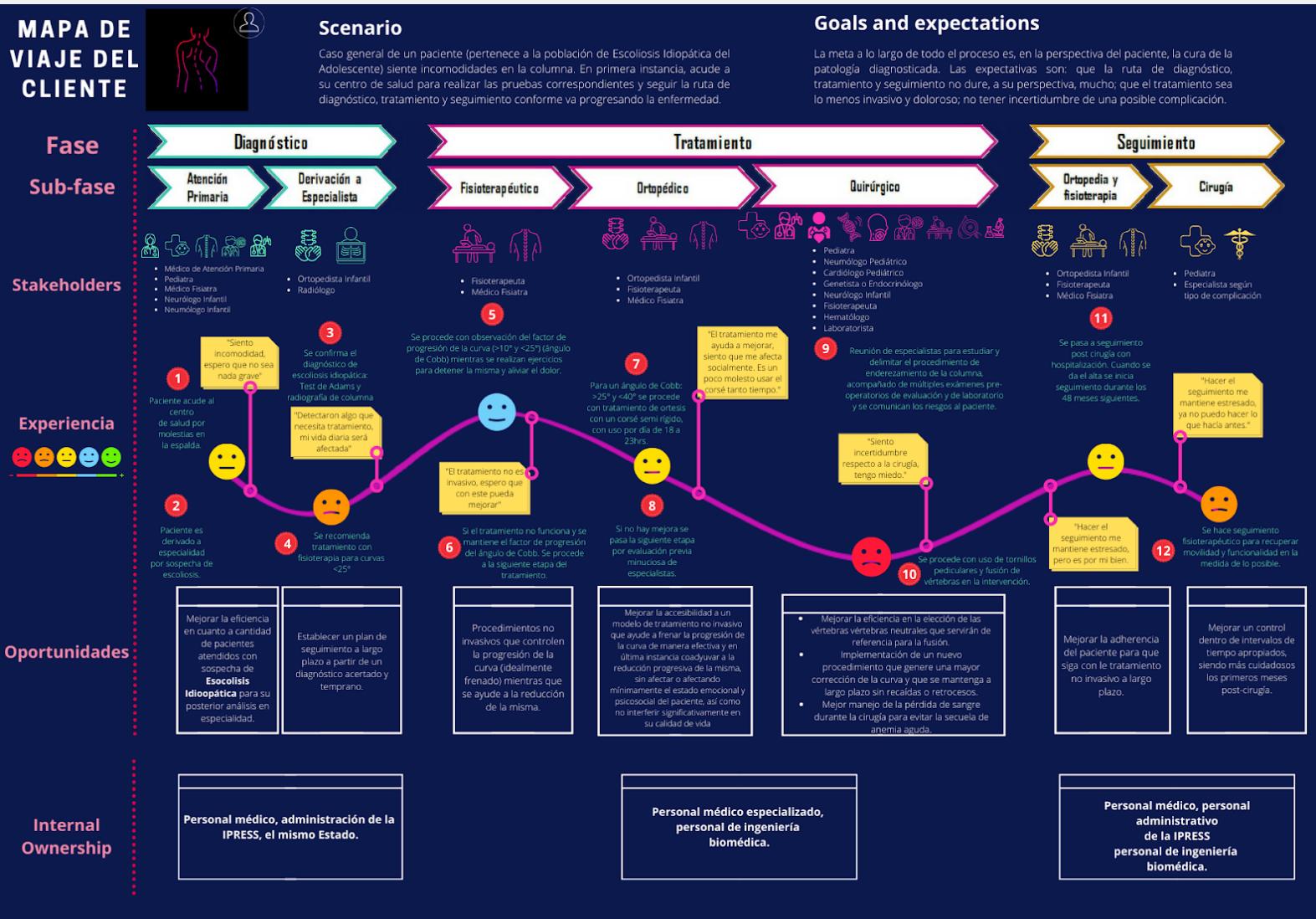


Figura 8. Mapa de viaje del cliente.

b. Observando el problema

Luego de haber planteado y definido la información que queremos conocer, procedemos con la observación, complementando con la experiencia de haber visitado centros especializados como hospitales o la interacción con actores involucrados en el cuidado de nuestro paciente. Las entrevistas (en especial hecha a la paciente) nos ayuda a obtener mayor información de lo que siente el paciente, y encontrar la relación entre lo que dice, siente y hace. Para esto usamos la herramienta del mapa de empatía para el usuario:

Diagrama de empatía



Figura 9. Diagrama de empatía.

Así pues, consideramos 4 secciones: Dice y hace, observa, escucha y siente. Además de la entrevista con la paciente se tomó como referencia para trabajar con esta herramienta el documento: Vivencias de las jóvenes diagnosticadas de escoliosis idiopática, Carrasco, 2016, que nos ayuda a tener una visión más profunda sobre la opinión de quien sufre en carne propia la enfermedad [63]. De aquí, podemos corroborar que el impacto psicológico de la enfermedad se tiene que tener en cuenta en el tratamiento, por ejemplo, cuando ve personas moviéndose libremente o cuando se ve en el espejo. Justamente en la etapa de desarrollo de la autopercepción es vital proporcionar seguridad para con una alternativa de tratamiento y que el paciente se sienta a gusto con este. Sobrepasando los límites de los estudios reportados en artículos, una mirada más humana nos permitió ver también que el tratamiento quirúrgico puede ser aterrador para el paciente y que siente que no tiene opciones de tratamiento disponibles de calidad que se ajusten a sus necesidades en particular y que además el tratamiento basado en fisioterapia o analgésicos representan una carga mental y económica que también le preocupa. Consideramos importante incluir una sección de frustraciones, puesto que de aquí podemos tener ideas de oportunidades sobre qué cosa valora más el paciente con respecto a su comodidad, estética, opciones de tratamiento, y a qué está dispuesto con tal de resolver estas frustraciones, así pues, la calidad de vida que se ve afecta resulta ser el factor más importante a tener en

cuenta, puesto que de aquí se desprenden valores importantes para la evaluación del tratamiento como la adherencia. Lógicamente, esto está vinculado a las posibles necesidades que el paciente sienta que son importantes.

Ahora, con la finalidad de tener una imagen más realista y centrada sobre el paciente/usuario, que sería beneficiado si una solución es capaz de atender su problema, se desarrolla su **perfil** basado en una persona ficticia, pero teniendo en cuenta toda la experiencia y aspectos que hemos recopilado sobre nuestro paciente hasta ahora, nos centramos en hacer de este ejercicio lo más real posible, y obtenemos:

Nombre: Alondra Ruiz		
Descripción del usuario (1) Describe al carácter ficticio que representa a los usuarios	Bosquejo (6)	Tareas del usuario (2) ¿Qué tarea desarrolla el usuario? ¿Dónde/cómo puede ser ayudado?
Alondra tiene 15 años, es estudiante de secundaria en Lima. Es paciente de escoliosis idiopática desde hace un año (a partir de su diagnóstico), se queja constantemente de dolor y tiene baja autoestima.		Alondra es una adolescente que estudia en las mañanas y asiste a sus sesiones de fisioterapia por las tardes. Además, ella tiene un corsé rígido, pero no lo usa el tiempo recomendado porque ella lo considera muy incómodo. Alondra requiere un tratamiento no invasivo que evite la progresión de su curva.
Influencers (7) Describe quienes tienen influencia en el usuario		Frustraciones (4) ¿Cuáles son los problemas y desafíos que tiene el usuario?
Alondra vive con sus padres y hermanas, ellos son sus principales soporte emocional en su vida diaria. En el colegio, ella es influenciada mucho por sus compañeros de clase, escucha a menudo comentarios negativos sobre su deformidad que afectan en gran medida su autoestima.		No puede realizar sus actividades con normalidad debido a dolores de espalda. Su actual tratamiento con corsé es muy incómodo y no puede medir exactamente el tiempo efectivo que lo usa. Además, tiene un déficit de autoconfianza que desencadena en pesimismo y ansiedad.
Tendencias (8) Que tendencias influyen al usuario	Caso de uso (3) ¿Dónde el usuario hace uso de nuestra propuesta? ¿Cómo lo hace?	Ganancias (5) ¿Cuáles son las posibilidades y beneficios que tiene o podría tener el usuario?
A Alondra le gusta aprender cosas nuevas, le gusta viajar y cocinar. Ella es buena estudiante, pero a raíz de su deformidad, se ha sentido muy triste y su rendimiento ha bajado considerablemente.	Alondra haría uso de nuestra tecnología/solución en su tratamiento, ella podrá saber el tiempo efectivo del uso de un corsé blando y cómodo que impida que la curvatura de la columna progrese.	Al tener la solución que mide el tiempo efectivo de uso, ella sabrá si está siguiendo apropiadamente el tratamiento. Asimismo, debido a que el material del corsé es blando, ella se sentirá más cómoda.

Figura 10. Perfil del usuario.

El perfil del usuario nos permite conocer a más detalle al paciente, esto es, sus frustraciones, tendencias, ganancias, influencers, tareas entre otros, con el fin de empatizar con el usuario e identificar las oportunidades de mejora. Para este caso, el principal problema de Alondra es evitar la progresión de la curva, para ello, ella sigue el tratamiento de fisioterapia y usa un corsé rígido, pero le resulta incómodo e impreciso, ya que no puede saber exactamente el tiempo efectivo de uso y tampoco realizar sus actividades con normalidad.

c. **Definiendo el problema (Se debe plantear como una pregunta)**

Luego de todo el análisis previamente realizado, se procede a plantear el problema con la herramienta: How might we...? Esta nos ayuda a plantear el problema considerando los actores involucrados, el usuario final, los productos esperados y la manera de medir el impacto de la solución propuesta. De modo que llegamos a la siguiente pregunta:

“¿Cómo podríamos nosotros ... Diseñar un sistema de control y monitoreo como alternativa de tratamiento no invasivo para pacientes diagnosticados con escoliosis idiopática del adolescente con curvas moderadas, tal que permita reducir la progresión de la curva y que el personal médico pueda medir los parámetros de tratamiento, considerando que la solución sea de bajo costo a fin de evitar la intervención quirúrgica para disminuir el tiempo de hospitalización, rehabilitación y seguimiento por complicaciones.”

Finalmente, luego de haber planteado la pregunta que define el problema, se procede a declarar los parámetros que guiarán los siguientes pasos durante el desarrollo del proyecto, para esto se usó la herramienta: “define success” que se muestra a continuación:

Define las preguntas	Respuestas	Evaluar y seleccionar	
<p>Prepara la lista de preguntas relevantes. Por ejemplo: ¿Qué significa el éxito para los usuarios? ¿Qué significa el éxito para el equipo de diseño? ¿Qué significa el éxito para los demás interesados?</p> <p>¿Qué significa el éxito para el ortopedista? ¿Qué significa el éxito para el cirujano de columna? ¿Qué significa el éxito para el hospital donde se trata escoliosis idiopática? ¿Qué significa el éxito para los padres de una adolescente con EIA? ¿Qué significa el éxito para un paciente con EIA? ¿Qué significa el éxito para el equipo de diseño?</p>	<p>(Sofía) El éxito para el equipo de diseño es crear un dispositivo que demuestre utilidad y usabilidad.</p> <p>(Joao) El éxito para el cirujano de columna significa tener cirugías con menor riesgo y carga de estrés.</p> <p>(Claudia) El éxito para el hospital implica la oferta de una alternativa de tratamiento que reduzca los costos asociados al tratamiento quirúrgico.</p> <p>(Joao) El éxito para el ortopedista significa manufacturar una ortesis que se adapte al paciente a largo plazo.</p> <p>(Claudia) El éxito para la madre significa que su hija evite un tratamiento invasivo o riesgoso.</p> <p>(Cristina) El éxito para el paciente significa minimizar la progresión de la curva.</p> <p>(Joao) El éxito para el paciente significa tener un tratamiento con el que se sienta cómodo y que se sienta seguro.</p> <p>(Jorge) El éxito para el hospital donde se trata escoliosis idiopática significa cubrir oportunamente las necesidades de los pacientes con EIA</p>	<p>Evaluando la relevancia de las respuestas.</p> <p>Más relevante</p> <p>El éxito para el paciente y sus familiares significa conseguir un tratamiento no invasivo, cómodo y seguro que minimice la progresión de la curva.</p> <p>Menos relevante</p>	

Figura 11. How might we?

De esta manera establecemos que nuestra manera de evaluar el éxito de la propuesta de solución para el problema identificado se centrará en el paciente, de modo que podamos proporcionar una alternativa de tratamiento seguro, no invasivo y cómoda que ayude a minimizar la progresión de la curva.

2. PROPUESTA DE SOLUCIÓN (Hito 2) – Idear

2.1. Estado del arte:

- Trabajos de investigación (tesis/artículos/etc.)

Analizaremos lo referente a artículos científicos que se basen en el tratamiento no invasivo mediante el proceso de crear un corsé inteligente o con capacidad de adaptarse al entorno, en ese sentido, presentaremos y analizaremos los estudios que nos parecieron más relevantes:

1) A Low Power Wireless Load Monitoring System for the Treatment of Scoliosis.

Se teoriza que la cantidad de soporte y actividad correctiva depende de la ubicación, magnitud y dirección de las presiones ejercidas en las zonas afectadas (teoría de los 3 puntos de presión) [64]. Cote et. al. [65] usaron sensores resistivos de presión y se pudo concluir que los corsés de Boston no ejercen una distribución uniforme de presión, a pesar de que el paradigma de su diseño sea uno de tipo simétrico [66]. Este último dato resultaría inconveniente, tomando en cuenta que en la entrevista realizada al cirujano de columna Édgar Morales, se comunicó que el tipo de corsé más usado en nuestro país es el de tipo Boston invertido con una apertura en la parte abdominal con cierre por detrás, de esta manera se podría teorizar que las alternativas de soluciones no invasivas resultan ser ineficientes respecto a la capacidad de mantener una distribución uniforme de presión en el cuerpo. El diseño de este dispositivo se recomienda para pacientes con escoliosis idiopática.

El dispositivo se basa en la incorporación de un sistema de monitoreo en tiempo real de bajo uso de energía que sea capaz de almacenar datos sobre la calidad del tratamiento medido en base a las fuerzas ejercidas por la ótesis sobre el cuerpo del paciente y que en base a las lecturas pueda indicar al paciente si es que el corsé ejerce las fuerzas correctivas necesarias.

Respecto de los requerimientos del dispositivo y lo que se busca tener en cuenta durante el proceso de materialización de la idea los autores proponen: Que pese menos de 0.1 kg, que sea pequeño y recargable con batería, suficiente memoria de almacenamiento para la transmisión de Data, uso de 128 kB por cada dos semanas de seguimiento (ya que la data es almacenada internamente en el dispositivo). Los objetivos que busca cumplir esta solución son: La solución sea capaz de dar feedback sobre cómo el paciente se está colocando el corsé, a fin de que pueda mejorar la efectividad de este y que sea capaz de generar información valiosa para el análisis de la progresión del tratamiento, es decir, promedio de fuerzas aplicadas, tiempo de uso, etc.

Contexto de uso:

- Una microcomputadora dependiente de batería fue desarrollada para monitorear las cargas ejercidas por los corsés usados en niños con deformidades espinales [64].
- El dispositivo mide y registra el perfil temporal de las fuerzas aplicadas en las force pads o almohadillas de fuerza puestas en el corsé [64].
- El dispositivo recolecta datos de manera remota respecto a las presiones obtenidas cuando el corsé es usado. Presiones cerca a 0 significa que el corsé no es usado, menos de la recomendación (distribución de fuerzas por el especialista) significa que no se están aplicando las fuerzas correctamente y cercanas o iguales a las establecidas significa que se está usando correctamente [64].

- El sistema es capaz de proporcionar retroalimentación visual instantánea a través de LEDS.

Un diagrama de los componentes del sistema se presenta a continuación:

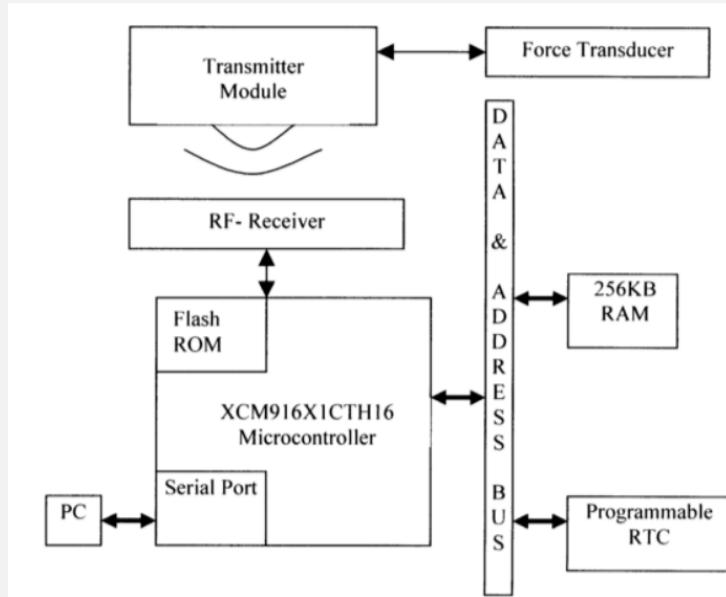


Figura 12. Fluxograma de solución [64].

2) A wearable computer for physiotherapeutic scoliosis treatment.

Sistema de monitorización de postura para el tratamiento de escoliosis idiopática usando tecnología electromagnética y de acelerometría. El sistema es llevado a cabo por el paciente y brinda retroalimentación de la postura durante las actividades diarias [67].

Los corsés presentan características activas y pasivas, donde las activas son consideradas como las más importantes [67]. Las características activas se refieren al tratamiento donde el paciente es el que ejerce la fuerza (movimiento) para hacer una reacción en el corsé (corregir la deformidad), es decir, el corsé tiene la capacidad de reaccionar a los movimientos del paciente de modo que pueda acomodar las fuerzas ejercidas sobre una zona en específico, esta manera de reaccionar al entorno y modificar mecánicamente dependiendo de los parámetros físicos del exterior es lo que le da la característica dinámica a una órtesis.

Con esta alternativa de solución se busca que:

1. Sugiere que puede ser una alternativa a los tratamientos de corsé a través del sistema de monitoreo.
2. Las personas o los doctores pueden descargar la data obtenida para la interpretación del progreso de los pacientes.

El contexto en el que el dispositivo puede ser usado viene dado por el uso de receptores de señal unidos al CPU por medio de un cable, el cual da indicios de la postura del paciente a través de la medición de las distancias obtenidas respecto del transmisor calculadas a través de acelerómetros. Los acelerómetros hacen uso de cálculos de los ciclos de respuesta y sus señales son interpretadas para obtener una variación en la distancia relativa respecto a la posición de inicio parado normal.

Un bosquejo de la distribución de los componentes se hace a continuación:

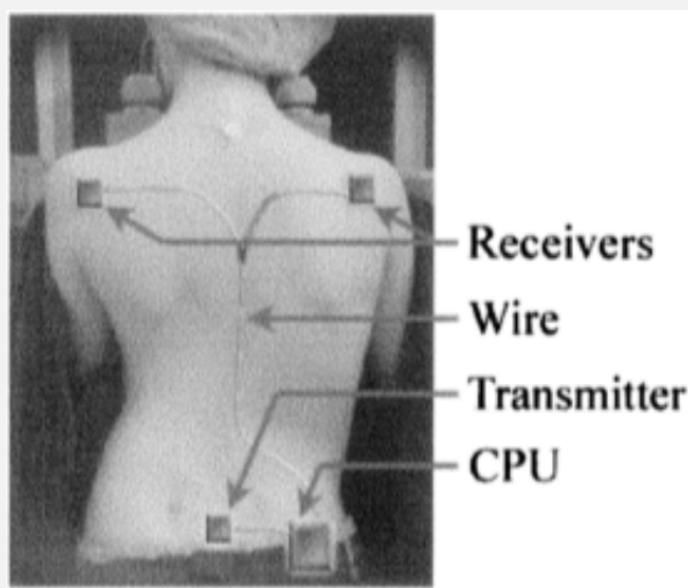


Figura 13. Esquema del prototipo de solución [67].

3) An intelligent active brace system for the treatment of scoliosis.

El contexto general de la solución describe un sistema activo de control de la presión en la interfaz entre el cuerpo y el corsé. El sistema consta de un transductor de fuerza (conversión de las deformaciones en el material usado a variaciones de voltaje) y un componente de retroalimentación de fuerza [68]. La solución se sustenta en que el tiempo de uso del corsé ayuda a mejores resultados a largo plazo [68]. Esta información se puede corroborar a través de la revisión sistemática presentada por André Ivaniski Mello y colaboradores [69] en el cuál, comparando distintos tipos de estudios de caso clínico donde se hace el seguimiento de los mejores resultados por tratamiento no invasivo para escoliosis idiopática, se encontró que el tratamiento ortopédico a largo plazo y continuo junto con actividades de fisioterapia son capaces de tener la mayor magnitud de mejora medida en reducción del ángulo de Cobb. Se señala que el crecimiento natural así como el desgaste del mismo corsé puede resultar en la pérdida de beneficios del corsé.

Esta solución busca incrementar el tiempo de uso del mismo a través de hacerlo más cómodo para maximizar los resultados que se puedan obtener. Así como también busca mantener las cargas constantes en la almohadilla de presión impuestas en el tronco del corsé.

El contexto de uso de esta alternativa de solución viene dada por el uso de una microcomputadora para hacer el monitoreo y un transductor de fuerza. Luego, la adquisición de la data se hace a través de un microcontrolador, que posee una memoria que almacena la data a través del periodo de estudio [68].

Posee un par de leds, rojo o verde que proveen retroalimentación de lo que tan ajustado está poniéndose el corsé.

Se incluye un inflador de aire, una bomba electrónica y dos válvulas electrónicas para regular la presión ejercida sobre un punto haciendo uso de actuadores neumáticos. El inflador de aire es un brazalete de control de presión neonatal desechable. La bomba electrónica es una micro bomba de aire que puede proveer presión hasta 51 kilo Pascales que es equivalente a 380 mmHg, mientras que la fuerza aplicada en las almohadillas de los corsés son de aproximadamente 8 kPa. La válvula de aire es una válvula en miniatura que puede sostener hasta 4 Kpa de presión [68].

Cuando el promedio de las muestras de fuerza recogidas por el sensor, son menores que el rango seleccionado por 15 minutos, la bomba de aire y la válvula se encenderá por 1 segundo, luego se analizarán las muestras obtenidas, si la fuerza sigue estando fuera del rango de valores establecido entonces se encenderá nuevamente, por el contrario, si el promedio de las fuerzas es mayor a la indicada, el sistema libera presión ajustando la fuerza en esa zona, por medio segundo, siempre para la toma de la muestra se tomaron 15 muestras [68].

La imagen del prototipo de esta alternativa de solución se presenta a continuación:

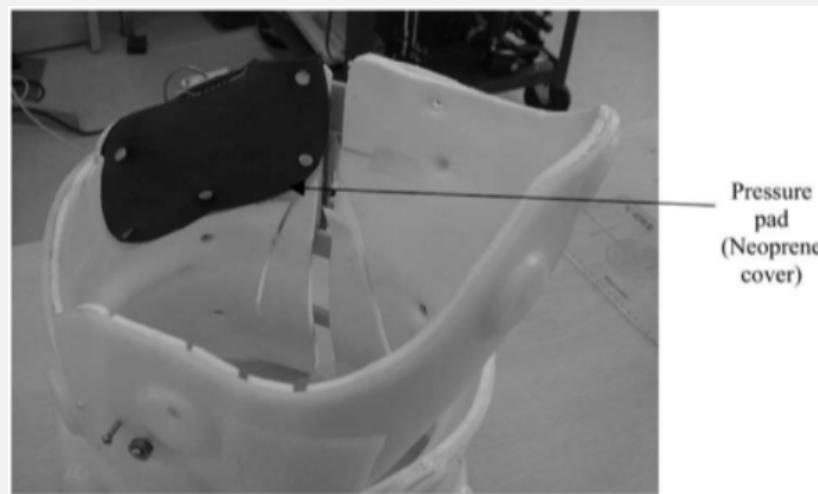


Figura 14. Prototipo de solución [68].

4) Design and implementation of regulated-pressure brace with on-board control and monitoring abilities for the treatment of scoliosis.

Se desarrolló una faja ajustable por presión para aplicar una fuerza del mismo valor y uniformemente a lo largo del cuerpo. Con esta alternativa de solución se busca mantener una distribución de fuerzas eficaz y constante alrededor del área donde se encuentre la deformidad, preservando el paradigma de los 3 puntos de presión. Es importante notar que en todas las soluciones basadas en control de presión encontradas, lo que se busca es una manera de preservar y mejorar la eficiencia de las presiones

ejercidas por el corsé, cada una hace uso de sensores que permitirán la toma de data y respuesta a la misma a través de un "corsé inteligente"; sin embargo, todas se basan en la predispuesta existencia de un corsé.

El contexto de uso del dispositivo viene dado por:

- Una bomba de diafragma de 6 V capaz de generar hasta 50 kPa. Una válvula solenoide clasificado para 43 kPa para inflar y desinflar las cámaras de aire que consiste en brazaletes de presión sanguínea neonatal [70].
- Un sensor analógico de presión es usado para mantener la presión en la bolsa de aire y la información se dirige al microcontrolador para su procesamiento [70].
- El voltaje usado para este sistema fue de 0 a 4.5V.
- El funcionamiento es el mismo, presión controlada por regiones con escalas de presión designadas que tienen que cumplirse y que se ajustan dependiendo de la variación en esa región.
- Se dispone de un KeyPad que le permite seleccionar una presión adecuada para el dispositivo en las regiones, es decir, que se tiene la capacidad de establecer los parámetros del tratamiento.

Una imagen del dispositivo montado se presenta a continuación:



Figura 15. Prototipo de solución [70]..

5) Robotic Spine Exoskeleton (RoSE)

Es un exoesqueleto robótico que mide y modula la posición y las fuerzas en los seis grados de libertad en regiones específicas del torso. Es el primer dispositivo ortopédico dinámico que mide la rigidez 3D del torso humano y consta de tres anillos diseñados para encajar en las regiones pélvica, toracolumbar y torácica. A diferencia de otros aparatos ortopédicos, al ser dinámico permite el movimiento normal del cuerpo [71].

El diseño del sistema puede aplicar fuerzas correctivas en direcciones específicas sin restringir el movimiento libre en otras direcciones [71]. Este tiene la capacidad de modular y registrar las fuerzas aplicadas en los puntos de presión en medida del tiempo y el movimiento del torso [71]. Además, este recopila datos en vivo de la rigidez de la columna (pacientes con curvaturas anormales de la columna tienen características de rigidez que son diferentes de aquellos con una columna normal) [71].



Figura 16. Prototipo de solución [71].

Sin embargo, de acuerdo a las soluciones en el ámbito científico, se vio poco la idea de usar un sistema dinámico basado en textiles que permita la corrección de la curva. Para entender e identificar el potencial efecto de alternativas de solución basados en órtesis vestibles para atender la necesidad de comodidad y adherencia, procedemos a mostrar resultados relevantes en cuanto a este apartado y sus resultados.

1) Study of Textile Fabric Materials used in Spinal Braces for Scoliosis

El uso de materiales blandos para los aparatos ortopédicos, como los materiales de tela, es una alternativa que se utiliza para desarrollar aparatos ortopédicos blandos porque los materiales textiles podrían ser cómodos y proporcionar un alto grado de cumplimiento con los usuarios según plantea [72]. Sin embargo, no hay estudios sobre cómo proporcionar el tratamiento/prevención de la escoliosis usando varios materiales textiles para fabricar un corsé suave. Así, este estudio tiene como objetivo estudiar el efecto de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales textiles utilizados en un soporte blando para el tratamiento/prevención de la escoliosis mediante simulación del modelo de elementos finitos (FEM).

Los principales resultados de este estudio mostraron que las órtesis blandas, basadas en su desarrollo, de poliéster con malla sándwich y bandas elásticas en capas paralelas posee una buena suavidad y una alta permeabilidad al aire así como también tuvo la capacidad de proveer buenos resultados respecto al tratamiento de escoliosis, tal es el caso que se logró (mediante la simulación) una disminución de un 14.4% de la curvatura usando la técnica de modelado de elementos finitos.

2) Exploring mass customization and textile application in medical products: re-designing scoliosis brace for shorter production lead time and better quality of life

El presente trabajo nos muestra las capacidades que tienen las órtesis para tratamiento de las escoliosis idiopática del adolescente diseñadas en tela para poder ser producidas en gran escala y el impacto que tendrían respecto de la calidad de vida de las personas en comparación con aquellas que usan alternativas basadas en corsé rígido.

Los resultados muestran que el soporte propuesto puede abordar el problema del cumplimiento del tratamiento por parte del paciente reduciendo el impacto del uso del corsé en la calidad de vida y acortando el plazo de producción mediante la incorporación del concepto de personalización masiva en el diseño y concepción de la alternativa de solución [73]. Similar a la mayoría de las soluciones para escoliosis comúnmente usadas, la combinación seleccionada de almohadillas usadas es clave para la corrección espinal, la combinación propuesta muestra una cantidad suficiente de presión ejercida y una función similar de corrección espinal activa basado en la técnica de los 3 puntos de presión.

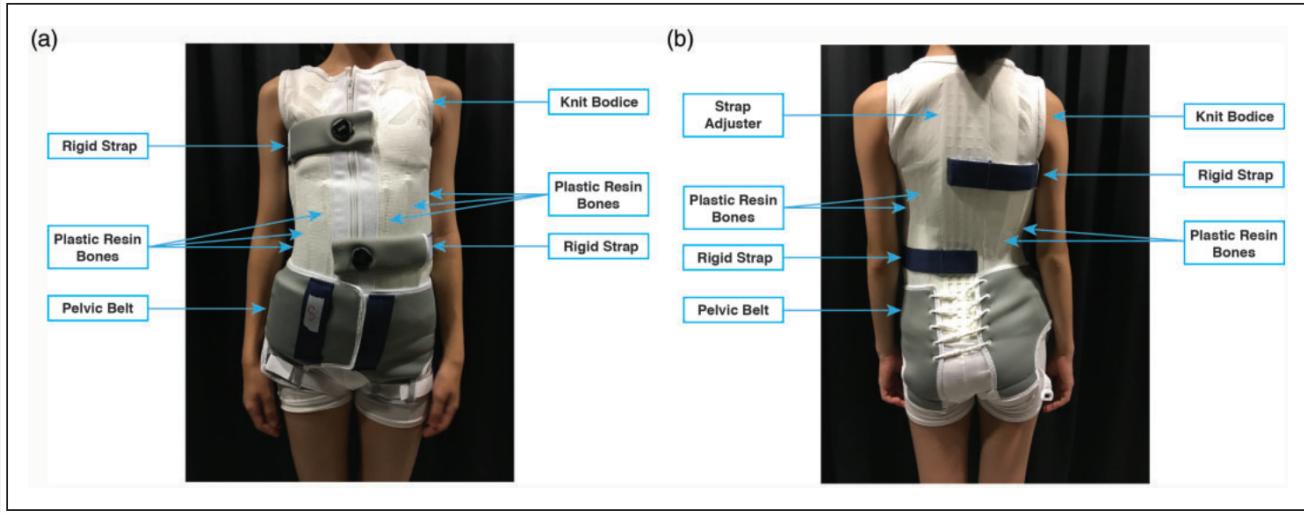


Figura 17. Prototipo de solución, acoplamiento al cuerpo del paciente [73].

Los aspectos más resaltantes de esta solución es la capacidad de medición de fuerzas aplicadas por parte los sensores usado en las almohadillas basados en textil también, estos están embebidos en una interfaz que permite su sencilla acomodación a la curvatura de las almohadillas para que pueda ser acoplado con mayor facilidad al sistema y por tanto, al cuerpo del paciente, una imagen referencial de las almohadillas utilizadas se muestra a continuación:

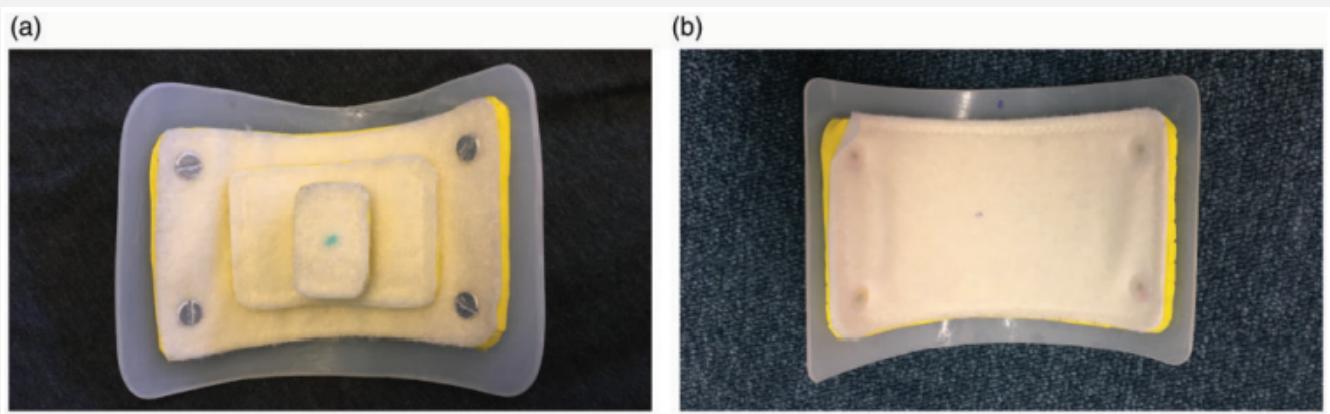


Figura 18. Prototipo de solución, diseño de las capas del sensor de fuerza embebido en almohadilla [73].

3) Anisotropic Textile Brace for Adolescent Idiopathic Scoliosis: Immediate in-brace effect and biomechanics

El propósito de este estudio de caso clínico fue el de evaluar la fiabilidad de un modelo anisotrópico (las propiedades del material depende íntegramente de la dirección en la que se apliquen las fuerzas sobre el mismo), usando una columna trasera artificial diseñada en base a bisagras adoptando la técnica de los 3 puntos de presión [74] para evaluar la capacidad de corrección inicial cuando la prenda es usada. Para la población se escogió pacientes femeninas con edad promedio de 12.2 años con inmadurez ósea y un ángulo de Cobb de 22.3°.

Los resultados presentaron un ratio de corrección inicial de entre 9.7 a 87%. El grado de corrección basados en el índice de asimetría del tronco posterior varía entre 14.1 y 43.2%. Además, las fuerzas ejercidas sobre el cuerpo del paciente varían entre 4.1 kPa a 25.6 kPa, que son valores (según señalan los autores) es comparable a aquella que es ejercida por los corsés rígidos [74].

Por último nos gustaría señalar que más recientemente se han venido explorando alternativas de solución basadas en actuadores mecánicos para adaptar un sistema dinámico para el tratamiento no invasivo de la escoliosis idiopática.

1) Soft Active Dynamic Brace for Spinal Deformities

Este sistema se basa en el desarrollo de un corsé dinámico y activo el cual no solo provee fuerzas correctivas tridimensionales sino que también permite la movilidad de la columna vertebral. El corsé es capaz de aplicar fuerzas correctivas usando bandas elásticas, las cuales su tensión es controlada usando actuadores giratorios de bajo peso ubicados a la altura de la cadera. Estos actuadores generan fuerzas de jalado usando el torque proporcionado por el eje del motor los cuales no solo reducen el peso del dispositivo sino también el costo asociado a su adquisición y reparación [75].

b. Sistemas comerciales

b.1. Milwaukee: El corsé Milwaukee tuvo origen en Estados Unidos en 1945 y se caracteriza por ser un corsé rígido hecho a partir de polietileno, aluminio y metal. Su principio de corrección se basa en un diseño simétrico con una apertura posterior. Anteriormente se usaba para la inmovilización postoperatoria de la escoliosis neuromuscular [76] junto con el uso para controlar la progresión de la curva torácica. Una gran desventaja que traía el uso de este corsé radicaba en que anteriormente se tenían que usar hasta por 23 horas al día en el año en el cual se había hecho el diagnóstico que la progresión de la curva de la escoliosis idiopática sería la mayor [77]. Actualmente no es usado más para tratar la escoliosis pero se sigue usando para tratar la cifosis de Scheuermann y las curvas torácicas altas [76]. Justamente en el tratamiento de la cifosis de Scheuermann es donde se reporta que uno de los principales problemas de este tipo de corsé es el impacto emocional que genera en los usuarios adolescentes gracias a la poca estética del anillo de sujeción al cuello, lo cual si bien no se trata de la

misma enfermedad corrobora que el uso de tipo de corsés afecta de manera negativa la estabilidad emocional de los usuarios [78].



Figura 19. Corsé Milwaukee [76].

b.2. **Boston:** El corsé Boston tuvo origen en Estados Unidos en 1972 y se caracteriza por ser un corsé rígido hecho a base de polietileno/polipropileno o a partir de modelos prefabricados. Este corsé presenta un diseño simétrico con una apertura posterior, con lo cual se puede decir que el corsé Boston está diseñado para la zona la curva lumbar, pudiéndose extender para así tratar las curvas lumbares y toracolumbares. Presenta un costo de fabricación menor al corsé Milwaukee y el corsé tipo Boston se aplica cuando el ángulo de Cobb se encuentra sobre 25° [76]. Sin embargo este tipo de corsé tiene una gran desventaja y es que genera diversas limitaciones físicas tal como desconfort al limitar el rango de movimiento diario del usuario. Esto es principalmente debido a que el material rígido utilizado en el corsé tipo Boston inhibe el movimiento natural del usuario, como por ejemplo cuando se inclina hacia adelante, así como su baja permeabilidad al agua y al aire [79]. Por otro lado también está el caso de la importancia del aspecto psicológico, donde un estudio reportó que el 72% de los pacientes adolescentes con escoliosis idiopática que usaron el corsé Boston por 17,6 horas diarias por un periodo promedio de 1 año y 7 meses se vieron afectados de manera psicológica de cierta manera, mientras que un 56% consideró que sus actividades motoras básicas se vieron afectadas al mismo tiempo que un 54% sintió que la socialización con su entorno se vio afectada. Lo más preocupante resulta que un 40% reportó que experimentó conflictos en su ambiente escolar producto del uso del corsé Boston para tratar su caso de escoliosis idiopática [80]. Además también se reportó que la construcción misma del corsé basándose en polipropileno de alta densidad alineado con espuma de polietileno con una apertura posterior usando correas de velcro generaba que los estudiantes no puedan colocarse el corsé tipo Boston por ellos mismos, lo cual generaba inconvenientes relacionados con la independencia de los pacientes al momento de asistir a la escuela [81].



Figura 20. Corsé Boston. [76]

b.3. **Chêneau:** El corsé Chêneau tuvo origen en Francia/Alemania en 1960 y se caracteriza por ser un corsé rígido hecho a base de polietileno. El principio de corrección de este corsé se basa en la combinación del balance sagital, rotación regional, perfil psicológico y un sistema de flexión de tres puntos. También se desarrollaron los sistemas del corsé 3D Rigo Cheneau (RSCB) y del corsé ligero Cheneau a manera de extensión del clásico corsé Cheneau en 1990 y 2005 respectivamente [76]. En el uso de este corsé también se vio evidenciado la importancia del aspecto psicológico en el paciente, ya que al tratarse de un paciente con escoliosis idiopática en la época de la adolescencia es bastante importante la apariencia física. Ante ello se menciona en un estudio publicado en 2022 por Eindhoven University of Technology (Países Bajos), Capital Medical University (China) y Beijing Chaoyang Hospital que seis pacientes reportaron que el corsé Cheneau les resultaba difícil para colocar y retirar, lo cual afectaba de manera negativa su independencia en la escuela. Gracias a esto es que el 64% de los pacientes del estudio realizado indicaron que preferían utilizar el corsé al momento de dormir, ya que no eran interrumpidos por los comentarios negativos de sus compañeros debido a la forma física que adopta su cuerpo al momento de usarlo durante el día, además de no necesitar la ayuda de un tercero en la escuela para poder usarlo de manera apropiada. Esto demuestra que los pacientes prefirieron utilizar el corsé al momento de dormir para así poder evitar la mala experiencia psicológica que sufren en la escuela a causa de la imagen física que muestra el corsé Cheneau ante la presencia de la escoliosis idiopática [81].



Figura 21. Corsé Chêneau. [76]

b.4. Lyon: El corsé Lyon se originó en Francia en 1947 y se caracteriza por ser un corsé muy rígido hecho a partir de polimetacrilato y radiotransparente duraluminio. Su principio de corrección se basa en la detorsión global aplicando un sistema de presión de 3 puntos junto con un sistema de respiración de rotación angular. Una particularidad de este corsé es que los moldes individuales se basan en modelos de tres dimensiones de corrección helicoidal con movimiento emparejados. Es importante mencionar que el plano sagital se encuentra colocado en una postura fisiológica para mejorar las condiciones de una espalda plana en caso sea necesario. En el medio del corsé, debajo del pecho, la sujeción de las dos hemi-carcasas realiza un alargamiento axial pasivo geométrico y detorsión geométrica. La interfaz de policarbonato-piel es suave al contacto con una detorsión mecánica de un cilindro [76]. En un estudio realizado por University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences en Teherán, Irán en el cual se comparó al corsé Lyon con el corsé Milwaukee en pacientes con hipercifosis torácica se pudo dar a conocer que los usuarios con este último tipo de corsé presentaron un mayor impedimento de relacionarse socialmente que los pacientes que portaban el corsé Lyon. Además también se reportó que se generó una mayor restricción en la espalda de aquellos usuarios con el corsé Milwaukee que en los usuarios del corsé Lyon, esto debido a que el primer tipo de corsé posee extremos superiores (anillo cervical) e inferiores (canasta pélvica) lo cual reduce la flexibilidad de los pacientes. Al contrario, el corsé tipo Lyon brinda un mayor espacio para el estado físico de los pacientes y una mayor flexibilidad en la espalda gracias a su diseño con ausencia de anillos cervicales, con lo cual se provee de una mejor conformidad al usuario [82].



Fig.22. Corsé Lyon. [76]

b.5. TriaC

El TriaC es una ótesis, originaria de Países Bajos, mayormente elástica que está conformada por conexiones plásticas y blandas que se superponen a un modelo prefabricado. Su método de corrección se basa en la aplicación de fuerzas continuas cada vez que el paciente realice un movimiento. Es decir, que la ótesis reacciona dinámicamente a los movimientos del cuerpo del paciente. Para permitir la flexibilidad y movimiento de la columna, se conecta la parte torácica con la zona lumbar mediante una conexión plástica, así cada sección puede generar una fuerza correctiva para reducir la curvatura. Asimismo, contiene almohadillas en la zona torácica que aplica una fuerza correctiva en dirección lateral-anterior y en la zona lumbar que estimula a los músculos

lumbares a actuar en dirección lateral. También, se agrega una tercera almohadilla para mantener un equilibrio de fuerzas en la columna [85].

Según un estudio clínico de Bulthius et.al, el 76% de los pacientes evaluados presentaron una reducción significativa en su ángulo de cobb. Sin embargo, la corrección se mantiene hasta un punto después de lograrse la madurez esquelética. Finalmente, se concluyó que el TriaC manifestó ser efectivo en la reducción de la curva, sin diferir de las órtesis convencionales, esto se debe a que la aplicación de fuerzas en la zona frontal coincide con el de las órtesis normales, por lo que el TriaC vendría a ofrecer una mayor comodidad sin restricción del movimiento, logrando evitar la progresión de la curvatura [85].

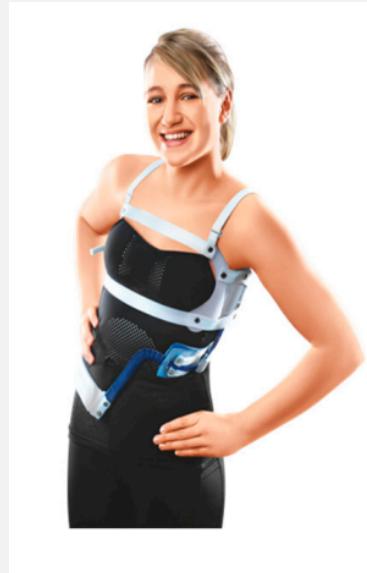


Fig.23. Corsé TriaC. [76]

b.6. SpineCor

El SpineCor se originó en Canadá en 1993, es recomendado para niños de 5 años a más con curvaturas de 20°-50° como una solución de refuerzo dinámico. Es un corsé elástico conformado por bandas elásticas sujetadas a una base pélvica con ajuste personalizable. Su método de corrección se basa en el uso de 5 bandas elásticas envueltas en el torso uniéndose en los contornos del torso junto con la zona pélvica, estas bandas aplican fuerzas correctivas y derrotacionales a través del ajuste de bandas que se da cada vez que el paciente se mueve, aumentando así la actividad muscular en las zonas de la curvatura para retener una postura en equilibrio.

Según un estudio clínico de Circo et.al, de los 106 pacientes el 93.3% presentó una corrección de su curvatura. Asimismo, el 12.3% no tuvo índice de progresión 2 años después de finalizar el tratamiento [84]. Asimismo, según la SRS, el aparato ortopédico SpineCor presentó al paciente una mejor imagen de sí mismo, se sintió más activo en la vida diaria y experimentó menos dolor. Sin embargo, a pesar de ser usado a tiempo completo presenta menor corrección de la curvatura a comparación de las órtesis rígidas.

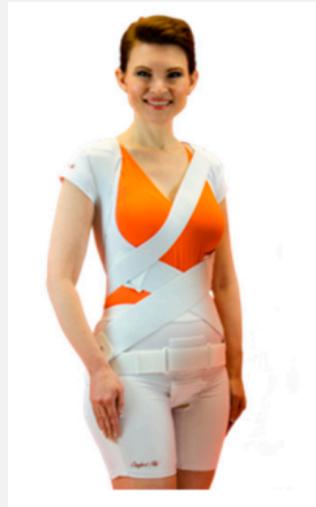


Fig.24. Corsé SpinCor. [76]

b.7. ScoliSMART

Se trata de una ortesis elástica conformada por bandas elásticas de neopreno que aplica fuerzas correctivas mediante el movimiento dinámico del cuerpo. Su método de corrección se basa en aplicar un mecanismo de apoyo para la corrección de la curvatura. Para ello, el ScoliSMART proporciona un estímulo rotacional que estira lentamente las zonas musculares donde se encuentran las curvaturas de la escoliosis. Esto provoca que los músculos apliquen fuerzas derrotacionales a las zonas de la curvatura. Asimismo, el sistema incluye correas de tensión que conectan con cada una de las bandas en un patrón de rotación. Las correas de tensión más largas proporcionan más resistencia a la rotación para que así el músculo pueda reaccionar. [83]

El ScoliSMART es recomendada para pacientes con crecimiento esquelético que presenten deformaciones vertebrales parecidas a la escoliosis. Según su caso clínico, se logró una reducción de la curvatura en un 90% de los 62 pacientes con escoliosis que usaron el ScoliSMART junto con el tratamiento terapéutico en un 1 año. [83]



Fig.25. Corsé ScoliSMART. [76]

b.8. Flexpine

El Flexpine es una órtesis semirígida, originaria de Corea del Sur, conformada por un soporte vertical de impresión 3D, que une 4 bandas, 2 en la zona torácica y 2 cerca de la zona pélvica. Su método de corrección se basa en el aumento de la actividad muscular de las zonas de la curvatura mediante el ajuste de las bandas con el movimiento del cuerpo. Sin embargo, se complementa el tratamiento usando un programa de ejercicios terapéuticos para fomentar la flexibilidad de los músculos del cuerpo. Por ende, Flexpine aprovecha el efecto sinergia para aprovechar el efecto del ejercicio con el ajuste de bandas para la corrección de la curvatura [86].



Fig.26. Corsé Flexpine. [76]

c. Patentes

c.1 Derotational Brace Treatment of Scoliosis (US00776685OB2)

En la patente de Naum Simanovsky [87], se describe un aparato ortopédico que comprende un elemento de caparazón torácico, un caparazón pélvico y un elemento de trabajo que tiene un eje longitudinal paralelo al tronco. Este elemento se ancla en uno de sus extremos a la cubierta torácica y en el otro al elemento de cubierta pélvica, además, tiene características de resorte adaptadas para aplicar una fuerza de desrotación continua alrededor de dicho eje longitudinal.

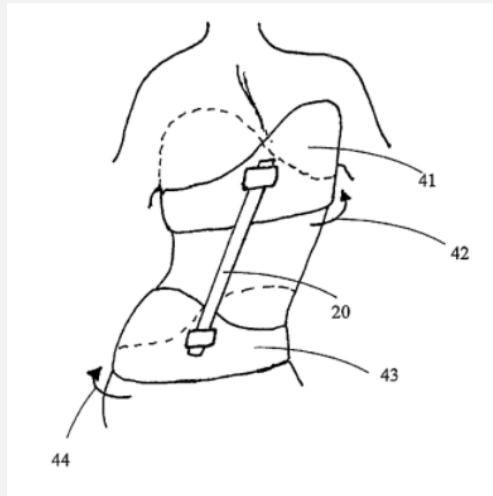


Fig. 27. Esquema del prototipo de solución de [87]

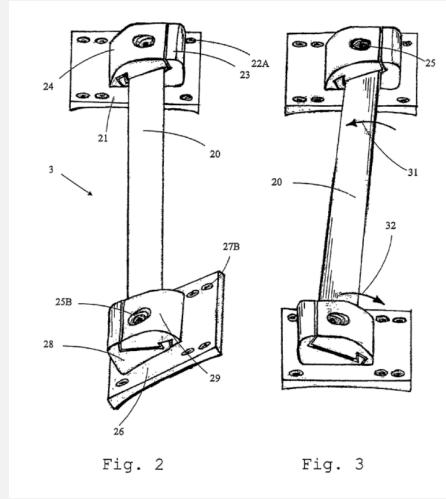


Fig. 28. Esquema del prototipo de solución de [87]

c.2 Scoliosis Brace (US010265210B2)

La patente registrada por Perez, Garth y Burke [88] describe un aparato ortopédico que comprende un cinturón y secciones puntales verticales que se pueden unir de forma desmontable. Cada sección puntal vertical puede comprender uno o más de los siguientes elementos:

- Almohadilla torácica
- Almohadilla de cadera
- Almohadilla de soporte lumbar
- Almohadilla de soporte para el pecho
- Almohadilla de desrotación

Estos son algunos componentes adecuados para restringir el movimiento del cuerpo mediante la reducción o aplicación de una fuerza. De esta forma se corrige la forma del cuerpo de un usuario y se reduce el dolor. Se contempla que cada componente pueda ser desmontable o ajustable desde un puntal o correa vertical.

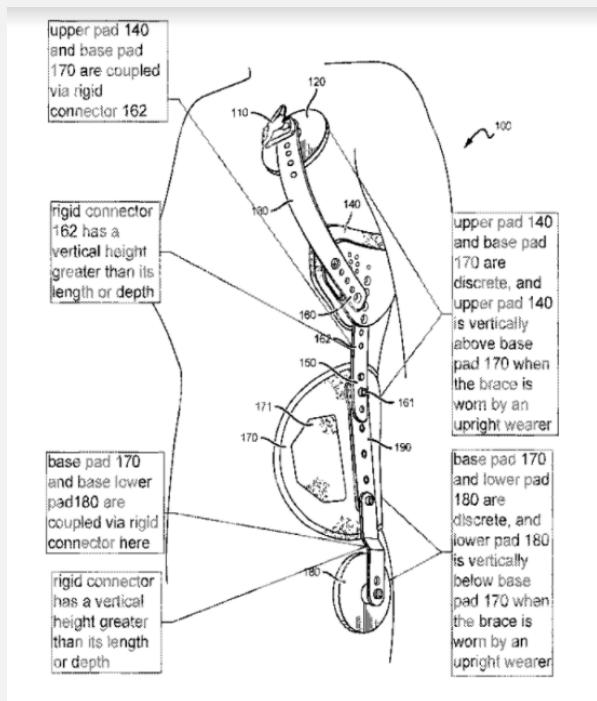


Fig. 29. Esquema del prototipo de solución de [88]

c.3 Low - profile Postural Corrective Garment for Therapeutic Relief of Low Back Pain and Mechanical Lumbar Disorders (US010406014B2):

Collier, Chimes, Burton, Mayfield , Manor y Krishnamoorthy proponen un dispositivo correctivo postural que incluye un sistema flexible de apoyo para la espalda incorporado en un traje que entrena hábitos de autocorrección ofreciendo recordatorios suaves para crear conciencia de lo que está haciendo el cuerpo del usuario. La prenda puede incluir pantalones cortos tipo “short” para anclar la parte superior de la prenda.[89]

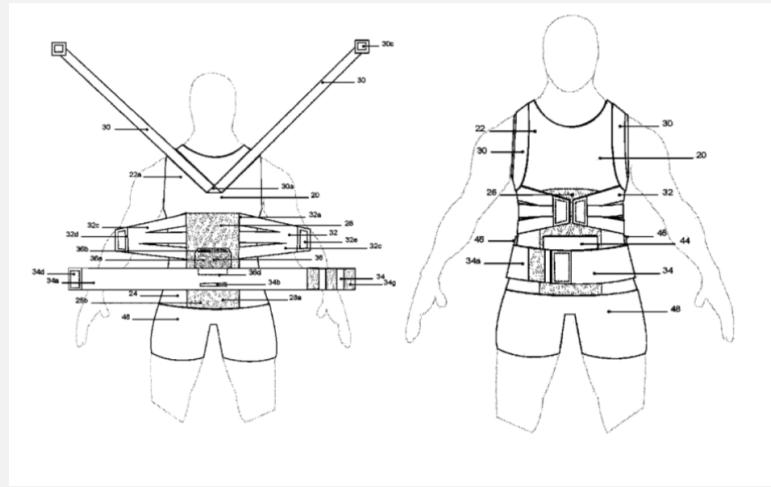


Fig. 30. Esquema del prototipo de solución de [89]

c.4 Asymmetrical spine support device for scoliosis patient (WO2018186553):

En la presente invención se propone un dispositivo asimétrico de soporte de la columna vertebral para un paciente con escoliosis, el cual comprende: una prenda de vestir que cubre la parte superior del cuerpo, una primera banda cuyo extremo está unido a la parte delantera del pecho, una segunda banda que se extiende en dirección opuesta, una tercera que está unida al lado inferior de la primera parte de la banda y se divide en dos partes mientras envuelve una parte de la cintura y atraviesa la parte de la espalda, por último, cuenta con una cuarta banda que se extiende en dirección opuesta a la tercera banda, suprimiendo de manera efectiva la progresión de una curva espinal a través de la presión asimétrica generada por una combinación de las bandas. [90]

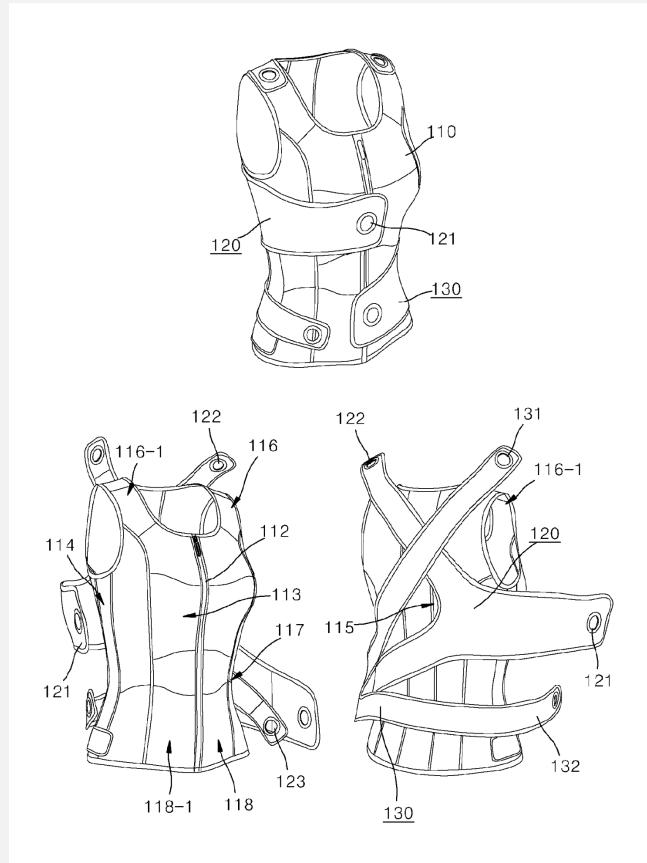


Fig. 31. Esquema del prototipo de solución de [90]

c.5 Dispositivo de tratamiento y ejercicio fisioterapéutico para el tratamiento de la escoliosis (DE10253630B4):

Helmut, Algermissen y Andrezej propusieron un dispositivo fisioterapéutico para el tratamiento de la escoliosis idiopática tridimensional, en el que el principio de tratamiento pasivo, que se lleva a cabo ampliamente con almohadillas, se combina con el principio de tratamiento activo, con el paciente en posición en decúbito prono o supino sobre una almohadilla de tratamiento. El dispositivo consta de los siguientes componentes funcionales:

- Soporte
- Dos pares de asas montadas a diferentes alturas con las que el paciente puede subir o bajar el soporte con las manos
- Componentes y barras verticales [91]

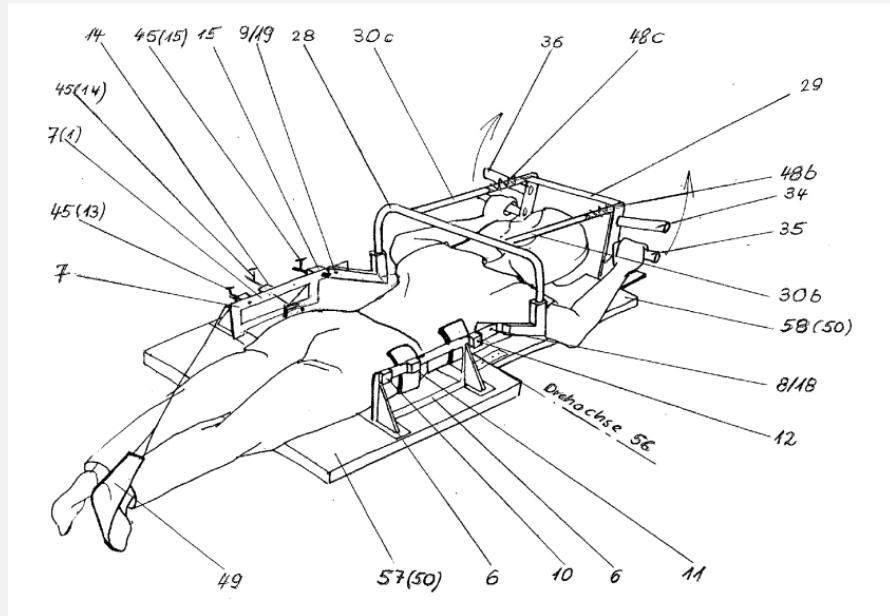


Fig. 32. Esquema del prototipo de solución de [91]

c.6 Method and Apparatus for Treatment of Idiopathic Scoliosis (USOO5490851A)

En la patente elaborada por Nenov y Nedelchev [92], se describe un aparato que cuenta con un par de puntales longitudinales cuya separación es ajustable y una pieza alargada que se puede girar y mover así el sacro del paciente hacia los huesos braquiales. De esta forma permite la corrección de la deformación causada por la escoliosis en un paciente, pues reposiciona el sacro para modificar la posición anatómica y restaurar la simetría de la cintura pélvica del paciente. El dispositivo se puede asegurar a la cintura pélvica.

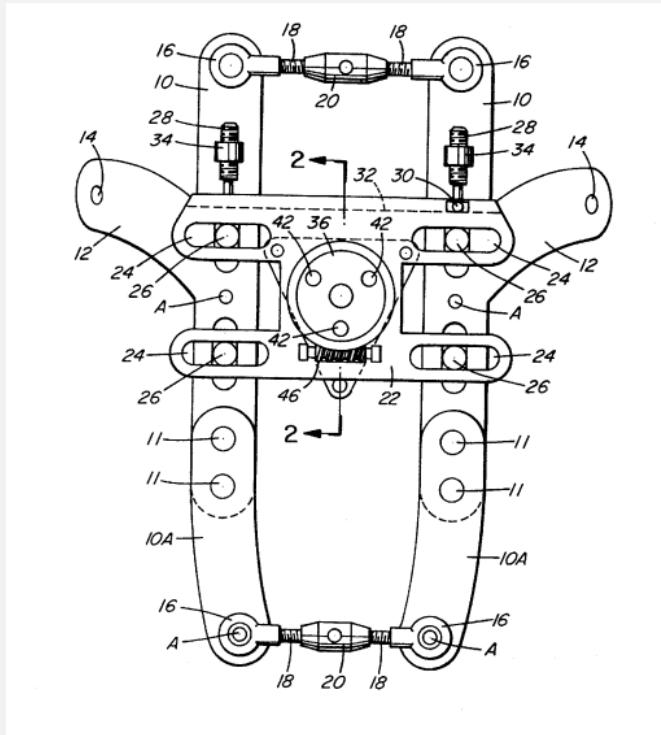


Fig. 33. Esquema del prototipo de solución de [92]

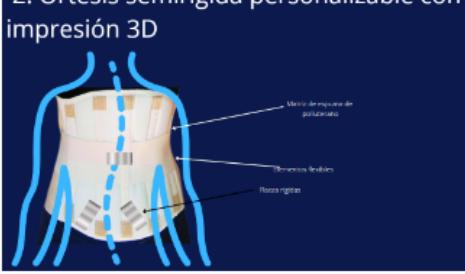
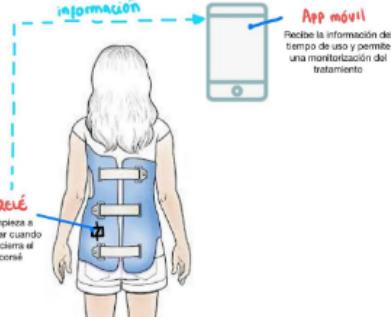
2.2. Ideando la solución

a. Lluvia de ideas

El equipo realizó la lluvia de ideas de posibles soluciones considerando lo que fue propuesto en la sección de planteamiento del problema, de modo que las ideas de solución atacan a una o varias de los puntos importantes de modo que algunas se pueden complementar con otras, así generando que las 8 soluciones no sean solo 8 soluciones aisladas, sino que se hizo el ejercicio de entender cómo estos se pueden complementar y que en consecuencia, la combinatoria final del abanico de soluciones propuesta sea mucho mayor. Así pues mostramos las 8 ideas de solución ideadas por el equipo junto con su respectiva descripción y un diagrama de flujo que permite entender de mejor manera la interrelación entre sus distintos componentes:

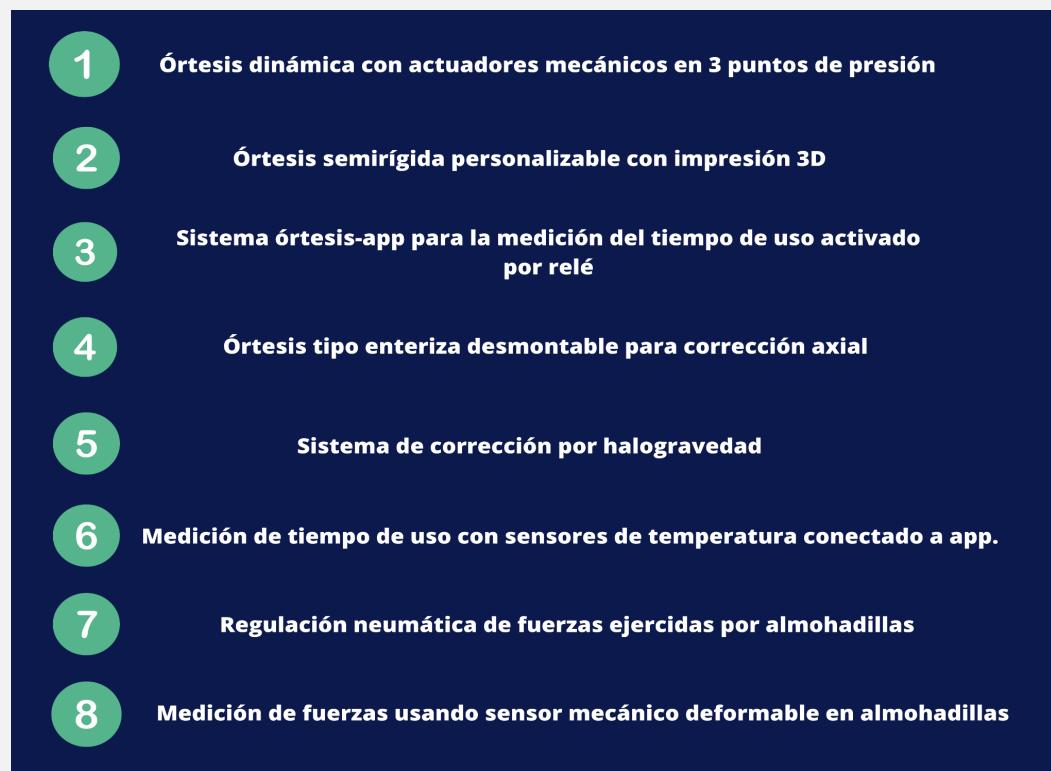
LLUVIA DE IDEAS (recuerde que debe haber variedad de ideas de solución)

Como podemos nosotros ...

1	 <p>1. Órtesis dinámica con actuadores mecánicos en 3 puntos de presión</p>	<p>La siguiente solución propone un sistema de corrección basado en actuadores mecánicos ubicados a la altura de zonas de la curvatura, de modo que permita, mediante ajuste o desajuste automático de secciones de la órtesis, un ejercicio de las fuerzas en una sección en específico siguiendo los parámetros médicos para el tratamiento de acuerdo a la técnica de los 3 puntos de presión. Este sistema está pensado para ser incorporado sobre una matriz vestible de modo que otorgue comodidad y movilidad al paciente.</p>
2	 <p>2. Órtesis semirígida personalizable con impresión 3D</p>	<p>La siguiente solución consiste en una órtesis personalizada que consta de secciones rígidas-estáticas hechas mediante impresión 3D sobre una matriz de espuma de poliuretano. Los elementos flexibles permitirán una movilidad parcial mientras que las placas rígidas corregirán la posición de la columna al amoldar la postura del paciente.</p>
3	 <p>RELÉ Empieza a contar cuando se cierra el corsé</p> <p>INFORMACIÓN</p> <p>App móvil Recibe la información del tiempo de uso y permite una monitorización del tratamiento</p>	<p>La siguiente solución nos permite medir el tiempo de uso de la órtesis mediante un sistema de habilitación y un relé que empieza a contar una vez que se cierra el corsé en el torso del paciente. Los datos obtenidos pueden ser derivados a una app móvil para la gamificación del progreso del tiempo de tratamiento.</p>
4	 <p>4. Órtesis desmontable para corrección axial</p> <p>Corsé desmontable</p> <p>Banda elástica con cierre</p> <p>Soporte en la parte inferior</p>	<p>La siguiente solución se basa en un corsé desmontable que cuenta con bandas elásticas que se disponen de manera diagonal para aplicar la fuerza derrotracional que permitiría la corrección angular (sentido contrario de la rotación axial de la columna deformada), además cuenta con un soporte en la parte inferior (short) de modo que quede fijado al cuerpo respecto de la pelvis y los soportes en los hombros.</p>

5		<p>La siguiente solución aplica la técnica de halogravedad, la cual consiste en ejercer tracción en la espalda para enderezar gradualmente la columna vertebral mientras que el paciente se encuentra sentado. Un sistema de tensión se sujeta al cráneo y está unido a un sistema de poleas con pesas y cuerdas. Para enderezar la columna se va a añadiendo pesos lentamente de modo que la columna vaya descomprimiéndose. Se incluye un sistema de polea que permita incrementar la tracción sin usar pesas con elevada masa.</p>
6		<p>La siguiente solución se basa en el uso de almohadillas con sensores de temperatura en el interior, que envían datos a una aplicación que muestra si la ótesis (rígida o blanda) esta siendo usada o no, según el cambio de temperatura.</p>
7		<p>La siguiente solución aplica una autorregulación neumática de las almohadillas de presión en los 3 puntos de presión para regular las fuerzas de manera mecánica en una interfaz corsé rígido/cuerpo. El corsé se complementa con un sistema de medición de fuerzas en cada sección de la curvatura de modo que el sistema neumático pueda responder ante este. El uso de una app para el envío y visualización de datos también se incluye.</p>
8	<p>8. Medición de fuerzas usando sensor mecánico deformable en almohadillas</p>	<p>La siguiente solución propone una adaptación de las almohadillas convencionales usadas para ejercer presión sobre una sección de la curvatura. Las almohadillas incluirán un sensor mecánico deformable en su interior que medirá la interacción entre la almohadilla y el cuerpo del paciente como función del vector resultante de la presión ejercida. Este sistema debe garantizar la transmisibilidad de la fuerza desde el punto de contacto con el cuerpo del paciente hasta el sensor, que no debe ser voluptuoso para no generar incomodidad. Los datos recolectados pueden ser enviados mediante Bluetooth hacia una aplicación móvil conectada a una base de datos que permite un registro de las fuerzas usadas en el tratamiento del paciente.</p>

Luego de proponer estas ideas de solución se procede a obtener lo más resaltante de cada una, de modo que podemos resumir la idea en simples palabras para un futuro análisis, de este modo obtenemos un título para cada una de las 8 soluciones propuestas anteriormente:



- b. Matrices 2x2 (mínimo 3 plantillas, al final deberán seleccionar las 3 soluciones ganadoras)

Es menester resaltar que no todas las soluciones (por más que nos hayamos esforzado en concebir cada una) pueden llegar a ser viables como propuesta de solución final. Siendo este el caso necesitamos de una manera de poder organizarlas y evaluarlas de acuerdo a distintos parámetros que consideramos importantes según hemos orientado la problemática, así pues tenemos las siguientes propuestas para la evaluación de nuestras soluciones:

- Costo vs. factibilidad:

- Costo: Interpretamos costo como la carga económica que conlleva la adquisición del dispositivo teniendo en cuenta los componentes de su sistema, la facilidad de adquisición y manejo de los mismos, así como la fabricación y sus gastos asociados.
- Factibilidad: Interpretamos factibilidad a la disponibilidad de los recursos necesarios (que tendríamos durante el curso) para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas (tanto las tangibles como componentes y las intangibles como las habilidades de los miembros del equipo), es decir, si

es posible cumplir con las metas para la fabricación de la solución, tomando en cuenta los recursos con los que se cuenta para su realización. Pero también considera en un supuesto real la facilidad y la practicidad de la elaboración del dispositivo, si tiene que ser personalizado, si tiene que sufrir cambios periódicamente, etc.

- Comodidad vs. beneficio (capacidad de fuerzas correctivas)

- Comodidad: La comunidad es un parámetro importante a tener en cuenta cuando queremos evaluar la capacidad que tendrá una ótesis para lograr la corrección de la curvatura y el impacto sobre la psicología del paciente, y el efecto que tendría este sobre la adherencia con el tratamiento.
- Beneficio: Interpretamos como beneficio la capacidad que tendría la solución para atender las necesidades relacionadas con la problemática de modo que los principales pilares son la capacidad de corrección y la obtención de datos que permitan medir la calidad del tratamiento.

- Innovación vs. dificultad

- Innovación: Se refiere a la comparación con el estado del arte, veremos qué tan novedoso es lo propuesto teniendo en cuenta si hay productos relacionados, estudios sobre su enfoque específico y perspectivas de uso nuevas de una técnica.
- Dificultad: Definimos dificultad como qué tan difícil será la concepción o materialización de un prototipo basados en la idea de la solución, de modo que encontremos un equilibrio entre lo nuevo y los recursos disponibles durante el curso y las capacidades de los miembros del equipo.

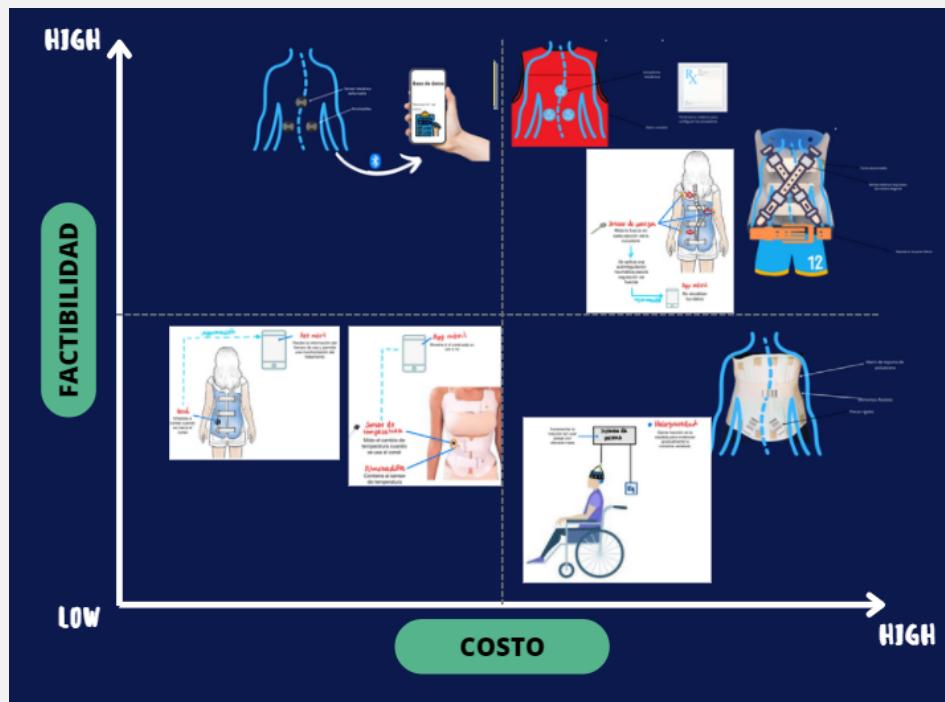
- Complejidad vs. utilidad

- Complejidad: Interpretamos complejidad como la cantidad de componentes del sistema, de los antecedentes para aplicar técnicas o estrategias que puedan ser realizadas por los miembros del equipo y la interrelación de cada uno de estos componentes para poder cumplir con el objetivo de la propuesta. Además de considerar la facilidad con la que el usuario pueda interactuar con la solución de modo que veamos especulemos sobre cuán difícil o sencillo se le hará la manipulación del dispositivo.
- Valor: Incluimos este eje como una manera de visualizar el beneficio más empáticamente desde la perspectiva del usuario, siendo qué considera como valioso, la facilidad de manejo del dispositivo, seguridad, automaticidad, comodidad, estética, etc.

De este modo, habiendo definido los parámetros sobre los cuales evaluaremos las propuestas de solución procedemos a elaborar las matrices de cada uno de los casos comparativos, para cada eje en lugar de usar antónimos como puntos mínimos y máximos de un parámetro usamos la escala low y high como nada óptimo y más óptimo respectivamente. Esto último nos permite ordenar las propuestas de solución dentro de un mismo cuadrante para poder dimensionar de mejor manera la ventaja competitiva sobre las otras propuestas.

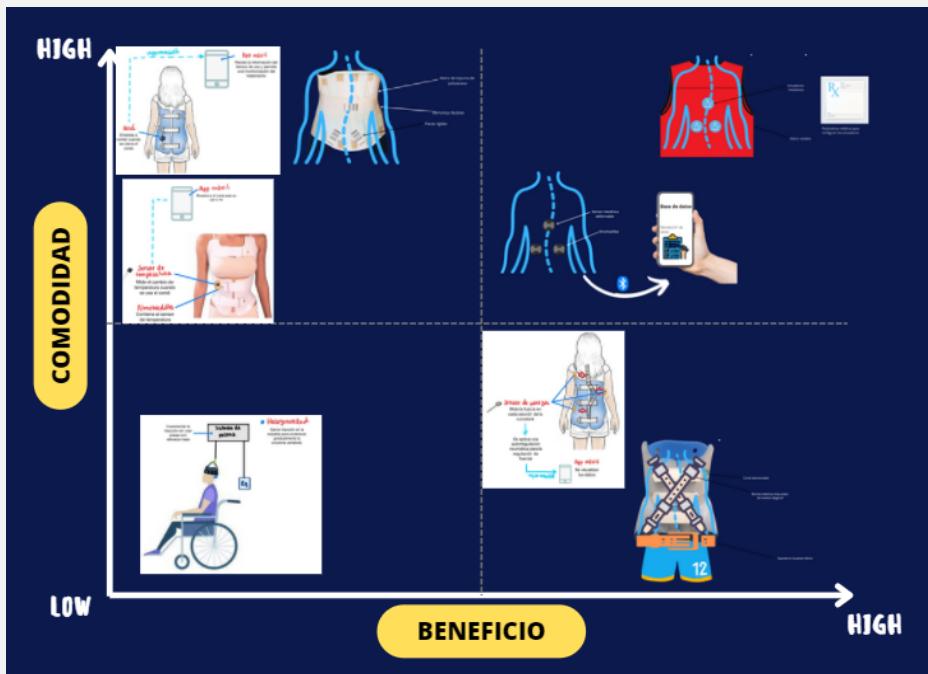
Se procede a mostrar las matrices elaboradas, donde los números representan, por orden, las ideas de solución concebidas en la lluvia de ideas(y sus respectivos títulos resumidos líneas más abajo) junto con el análisis de cada matriz:

- Costo vs. factibilidad



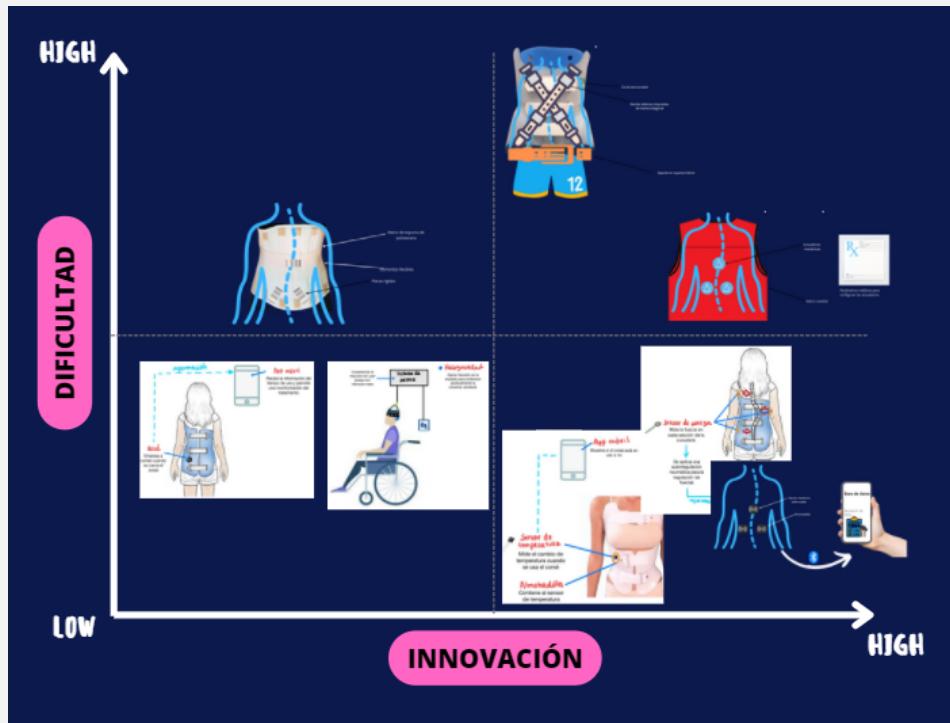
De esta plantilla podemos notar que la zona “ideal” es la que representa un menor costo en cuanto a la idea de solución, mientras que también representa una factibilidad alta. De este modo vemos que la solución 8 es la que cumple con estos requerimientos; sin embargo es necesario notar que también podemos arriesgar un poco respecto al precio de la solución siempre y cuando no sea excesivo y que a su vez represente una factibilidad elevada. Así pues, tenemos que la solución 8 también se encuentra en un rango aceptable siendo ligeramente más costoso que la solución 1 (debido a los componentes que visualizamos para su desarrollo), pero de igual factibilidad de acuerdo a la analizado por el grupo de acuerdo a la capacidad de corrección de la deformación de la columna dada por el dispositivo.

- Comodidad vs. beneficio (capacidad de fuerzas correctivas)



En el caso de esta plantilla se contempla como el cuadrante más óptimo aquel que tenga el mayor beneficio posible mientras que incrementa la comodidad del posible dispositivo desarrollado. Siendo este el caso, la solución 1 que representa una órtesis dinámica de tipo vestible textil que se acomode al cuerpo de la persona y que le permita el movimiento representa una opción clara de incrementada comodidad, mientras que el uso de los actuadores mecánicos para ejercer la fuerza necesaria en zonas específicas de la curvatura representa una manera clara (de ser logrado) mantener al paciente dentro de los rangos establecidos para su tratamiento. Luego la opción 8 atiende la necesidad de la toma y generación de datos de manera sistemática y automática mediante un sistema inteligente de medición basado en un sensor que irá embebido en la órtesis, de este modo, como se adapt almohadillas disponibles con sus respectivos materiales diseñados para la interacción con el cuerpo ayudaría a complementar incluso la solución 1 beneficiando la comodidad del usuario; sin embargo, como esta estará presionando el cuerpo en regiones muy específicas de la curvatura del paciente, vemos que tendrá un indicador de comodidad ligeramente menor a la de la solución 2 por ejemplo, que se basa en un sistema de tela y material de órtesis que se acopla al cuerpo pero tiene un beneficio considerablemente mayor debido a la capacidad de generar data cuantitativa.

- Innovación vs. dificultad



En esta plantilla vemos el grado de novedad de las soluciones propuestas y la dificultad de su posible materialización. Entonces se considera el cuadrante “ideal” aquellas soluciones que representen un nivel de innovación elevado, pero que tienen una dificultad de fabricación baja (de acuerdo a las capacidades del equipo). Entonces vemos que las soluciones que cumplen con estas condiciones son la 6, 7, y 8 , de acuerdo a que la solución, representa algo que no se ha visto en la literatura revisada y siendo que las alternativas 6 y 7 son formas novedosas pero ya estudiadas de mantener al paciente dentro de los parámetros de fuerzas ejercidas de su tratamiento. Sin embargo, nos gustaría añadir que que la solución 1 se queda fuera de este sector por muy poco debido a la composición de los componentes interrelacionados para que el sistema funcione, pero nos parece poder considerar un incremento en la dificultad del diseño (conversado con el grupo) y la capacidad de innovación de un dispositivo dinámico blando basado en textil que permita automatizar la corrección de fuerzas de manera óptima y que permita el libre movimiento de la persona enfocándose desde la estrategia de los 3 puntos de presión es algo que no se ha visto reportado en la literatura, donde muchas soluciones se basan en corsés rígidos o semirígidos sin ajuste automático o con un ajuste manual sin capacidad de medición.

- Complejidad vs. valor



Respecto a la complejidad del dispositivo basado en la dificultad de uso del mismo por parte del usuario. En cuanto a esta matriz se puede ver que la sección óptima es la que representa una complejidad baja mientras que la utilidad de lo que se puede desarrollar a partir de esta idea es la mayor posible. En ese sentido, las ideas 1, 8 y 2 son las que representan ideas óptimas debido a que su diseño representaría una curva de aprendizaje relativamente baja para el paciente y también la utilidad para la corrección de la curvatura, que es a la que se da prioridad en este caso también son elevadas.

Luego de haber hecho este ejercicio podemos concluir que las ideas de solución con las cuales trabajamos basándonos en las plantillas de matrices 2x2 serían la 1, la 8 y la 6. Las soluciones 1 y 8 se escogen debido a que aparecen siempre en el cuadrante más óptimo en todas las matrices y la 6, debido a que siempre aparece cercana a estas soluciones según lo mostrado en las matrices.

- c. NABC (3 plantillas para las 3 soluciones ganadoras, al final deben elegir la solución ganadora)

Luego de haber escogido las 3 soluciones que serán consideradas para esta etapa del análisis, se procede a realizar el análisis según la plantilla NABC y los resultados son los que se muestran a continuación:

<p>Necesidad (del usuario)</p> <ul style="list-style-type: none"> - El problema/necesidad de los usuarios - El usuario promedio que tiene este problema - La situación del día a día donde ocurre este problema 	<p>Enfoque (de la solución)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Como resuelve el problema la solución - Cuál es la promesa de desempeño - Como sería el modelo de negocio y/o servicio
<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa de tratamiento no invasivo dinámico y cómodo. • El usuario es una persona femenina adolescente diagnosticada con escoliosis idiopática del adolescente con una curva moderada. • La situación se presenta en la vida diaria del paciente, que es donde experimenta la carga emocional y psicológica así como el hecho de no contar con una alternativa de tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • La solución proporciona un mecanismo de corrección de fuerzas automáticas puesta sobre una matriz textil cómoda que permita el movimiento de la columna y que se vea como prenda, además que es un tratamiento que se basa en los movimientos del usuario y la adaptación de la órtesis en respuesta. • La promesa de desempeño es que el dispositivo tiene que tener la capacidad de ejercer fuerzas correctivas mediante al ajuste de la prenda sobre secciones de la curvatura, esta está manejada por la amplificación del torque del actuador mecánico. • El servicio de diseño y manufactura la realizan las casas de órtesis que brindan el producto como alternativa económicamente beneficiosa.
<p>Beneficio (al usar la solución)</p> <ul style="list-style-type: none"> - El beneficio para los usuarios - El beneficio para las organizaciones (hospital, Minsa, etc) 	<p>Competencia</p> <ul style="list-style-type: none"> describir las alternativas que existen hoy día o en un futuro próximo - En que se diferencia tu solución de estas alternativas

<p>Necesidad (del usuario)</p> <ul style="list-style-type: none"> - El problema/necesidad de los usuarios - El usuario promedio que tiene este problema - La situación del día a día donde ocurre este problema 	<p>Enfoque (de la solución)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Como resuelve el problema la solución - Cuál es la promesa de desempeño - Como sería el modelo de negocio y/o servicio
<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa de monitoreo no invasivo dinámico y cómodo que se adapte a la interfaz corsé rígido cuerpo. • El usuario es una persona femenina adolescente diagnosticada con escoliosis idiopática del adolescente con una curva moderada. • La situación se presenta en la vida diaria del paciente, que es donde experimenta la carga emocional y psicológica así como el hecho de no contar con una alternativa de tratamiento que permita cuantificar la calidad de su tratamiento y que el personal médico especializado tome decisiones para el rumbo de sus tratamientos en base a evidencia numérica precisa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las alternativas se basan en sistemas de regulación de fuerzas mediante el uso de distintos actuadores y que resultan ser dinámicos. • La solución propuesta posee un sistema de vigilancia inteligente y regulación de fuerzas de tratamiento teniendo la novedad de estar montada sobre una interfaz vestible que resulte cómoda y que implemente regulación automática mediante actuadores giratorios.
<p>Beneficio (al usar la solución)</p> <ul style="list-style-type: none"> - El beneficio para los usuarios - El beneficio para las organizaciones (hospital, Minsa, etc) 	<p>Competencia</p> <ul style="list-style-type: none"> describir las alternativas que existen hoy día o en un futuro próximo - En que se diferencia tu solución de estas alternativas

Necesidad (del usuario)	Enfoque (de la solución)
<ul style="list-style-type: none"> - El problema/necesidad de los usuarios - El usuario promedio que tiene este problema - La situación del día a día donde ocurre este problema <p>-El médico y el usuario necesitan de un método de monitoreo eficaz que le brinde datos cuantitativos para una correcta evaluación del progreso de la corrección de la curvatura con el tratamiento ortopédico</p> <p>-Médicos especialistas en deformidades vertebrales y adolescentes diagnosticados con escoliosis idiopática</p> <p>-Esto ocurre en todos los centros de salud de la capital, ya que, actualmente, no se presentaron avances tecnológicos con respecto al monitoreo a pacientes con escoliosis idiopática</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Como resuelve el problema la solución - Cual es la promesa de desempeño - Como sería el modelo de negocio y/o servicio <p>-Nos permite controlar el progreso del paciente, tal que nos podría dar una visión de la capacidad de la ótesis para evitar la progresión de la curvatura y, así, obtener data cuantitativa de la cual el especialista/investigador se puede basar para mejorar el tratamiento ortopédico.</p> <p>-El objetivo es que la solución permita almacenar y visualizar el progreso del paciente y controlar las fuerzas que se le aplican en el torso, para así, evitar los efectos adversos que presentan la mayoría de ótesis convencionales. Además, el objetivo es brindar datos cuantitativos que en anteriores métodos de monitoreo no se brindaron debido a una falta de investigación en nuestro país.</p>
Beneficio (al usar la solución)	Competencia
<ul style="list-style-type: none"> - El beneficio para los usuarios - El beneficio para las organizaciones (hospital, Minsa, etc) <p>-El usuario podrá verificar mediante una app si la presión que se ejerce es la correcta. Así el usuario podrá evitar daños físicos que le pueda generar la ótesis a su torso.</p> <p>-El médico podrá obtener datos cuantitativos de la eficacia del tratamiento con el paciente. Así podrá verificar si el tratamiento evita la progresión de la curvatura del usuario o si el paciente a cumplido con el tiempo de tratamiento dado.</p>	 <p>Describir las alternativas que existen hoy día o en un futuro próximo</p> <p>- En que se diferencia tu solución de estas alternativas</p> <p>-Entre las alternativas de solución actuales encontramos sensores de temperatura colocadas dentro de las almohadillas para medir el tiempo de uso de la ótesis</p> <p>-Nuestra solución a parte de utilizar un sensor, se centra en obtener datos de fuerza que puedan almacenarse en la base de datos de la aplicación enlazada vía bluetooth</p>

Luego de considerarlo detenidamente llegamos a la conclusión que la solución 1 y 8 se complementan y su unión representa una ventaja competitiva de acuerdo a las demás soluciones por individual y en conjunto de modo que permita atender de manera más fehaciente las necesidades que fueron identificadas durante la identificación de la problemática. **Así pues escogemos como solución ganadora a la combinación de la solución 1 y 8. Siendo la solución 1: Ótesis dinámica con actuadores mecánicos en 3 puntos de presión. Y la solución 8: Medición de fuerzas usando sensor mecánico deformable en almohadillas**

d. Definición de las entradas y salidas de la solución ganadora.

Para la identificación de las entradas y salidas de la solución ganadora(combinación entre las ideas de solución 1 y 8) se procede a especificar cuáles serían las entradas que recibiría el sistema así como las salidas que manifestaría de acuerdo a la estrategia de la caja negra.



3. IMPLEMENTACION (Hito 3) – Se entrega el informe y un videomostrando el funcionamiento del prototipo

Prototipamos la propuesta de solución usando las herramientas de fabricación digital y plataformas de prototipado de hardware y software.

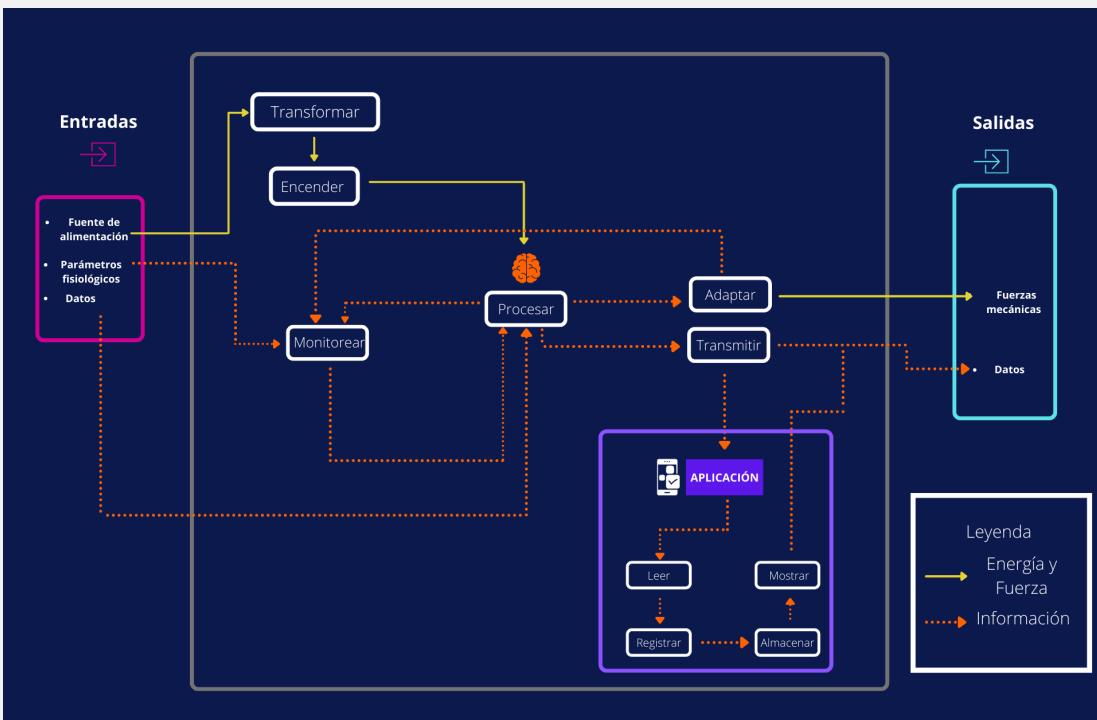
3.1 Consideraciones de diseños.

a. Definición de entradas y salidas



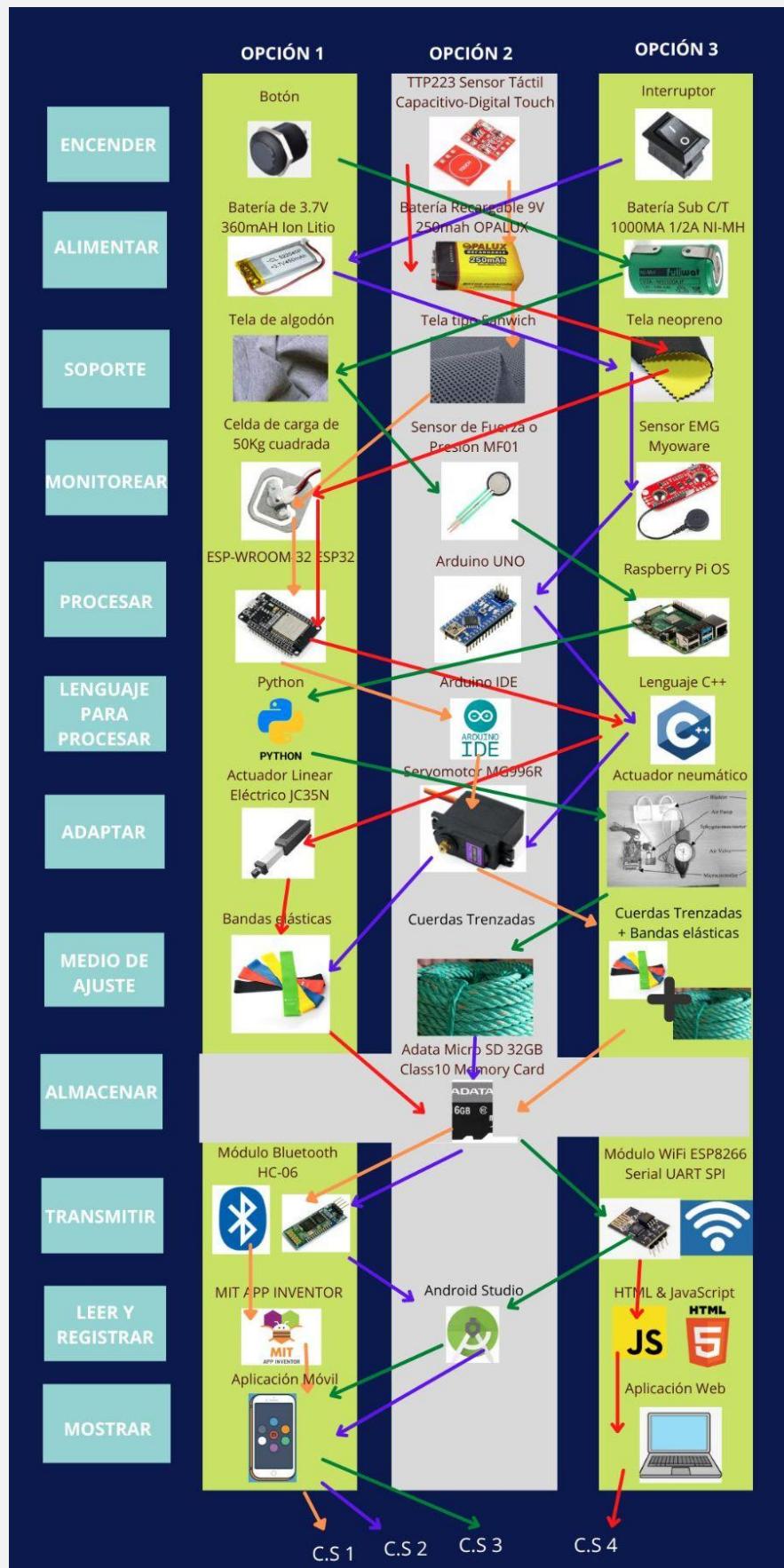
b. Definición de las subfunciones que componen el sistema:

Luego, para identificar las correlaciones entre todas las etapas que fueron consideradas para la materialización de esta idea de solución se elaboró un diagrama que nos permita ver cómo es que interactúan cada uno de los componentes de nuestro sistema, tanto del dispositivo como tal, así como la interacción con una aplicación móvil. Esta gráfica se muestra a continuación:



- Transformar: La fuente de alimentación se consume, para convertir la energía de la batería recargable a una señal que active el sistema.
 - Encender: Se enciende todo el sistema a partir de un sensor digital touch, que emite la señal para que se active la función de procesar.
 - Monitorear: Se controla los parámetros fisiológicos (Fuerzas) obtenidas mediante celdas de carga.
 - Procesar: Función principal que se encarga de controlar las demás funciones. Asimismo recibe los datos y parámetros fisiológicos (Fuerzas) monitoreador para su procedimiento y transmisión al aplicativo.
 - Adaptar: Esta función se encarga de ajustar las fuerzas aplicadas en las zonas de curvatura, una vez recibidos los parámetros fisiológicos procesados.
 - Transmitir: Se transmiten los datos vía Bluetooth a una aplicación.
 - Leer: Se procesan los datos enviados por el microcontrolador.
 - Registrar: Se ingresan los datos personales y las fuerzas requeridas.
 - Almacenar: Los datos registrados se almacenan en una base de datos.
 - Mostrar: Se trata de la visualización de los datos a través de la aplicación.
- c. Matriz morfológica para las subfunciones

Para cada subfunción se consideraron diferentes componentes con los cuales se estructuraron 4 alternativas de solución las cuales se distinguen por colores en la siguiente matriz morfológica:



Posteriormente se establecieron 14 criterios técnicos y económicos para evaluar cada concepto y elegir el que cumpla mejor con todos los requerimientos del proyecto.

3.2 Diseño e implementación de las subfunciones. Colocar aquí los pseudocódigos, esquemas electrónicos, diseño mecánico, etc. que correspondan a cada subfunción de su prototipo y explique brevemente su funcionamiento(Solo coloque los archivos/vistas/planos/códigos, etc., más importantes, en el anexo C puede poner archivos adicionales)

Nº	Criterios Técnicos y Económicos	Conceptos de Solucion (C.S.)			
		CS 1	CS 2	CS 3	CS 4
1	Precisión de Medición	3	2	4	3
2	Precisión de Corrección	4	3	3	4
3	Facilidad de Programación	4	4	3	3
4	Manejo de la data	2	3	4	3
5	Automatización	3	3	4	4
6	Diseño y Ergonomía	4	4	2	3
7	Portabilidad	4	4	3	3
8	Flexibilidad	4	4	3	3
9	Durabilidad	2	3	3	4
10	Facilidad de mantenimiento	3	2	2	2
11	Accesibilidad	4	2	2	2
12	Seguridad	4	2	3	3
13	Adaptabilidad	4	4	4	4
14	Facilidad de uso	4	4	4	4
	Suma Total	49	44	44	45

0 = No satisface
1 = Aceptable
2 = Suficiente
3 = Bien
4 = Muy bien (Ideal)

Recuerde que es válido que se puedan implementar varias versiones de los prototipos por lo que puede usar esta sección para presentar los diversos prototipos desarrollados.

- a. Submódulo energético: Se usará una batería Recargable 9V 250mah DH-250-9V para alimentar el dispositivo y un regulador de voltaje de 5V.
- b. Submódulo de activación:
 - i. Sensor Digital Touch TTP23B: Para el sensor se utilizó un código antirrebotes utilizando la conexión con el Relé que controla el tiempo de contacto físico (huella del usuario) con el sensor para activar el sistema, en este caso se configuró a 2 toques para aumentar la seguridad del usuario.

A continuación se muestra el código que controla el encendido y apagado del sistema. Para el primero de los estados se tiene que cumplir la condición de 3 toques y que el estado del relé esté apagado mientras que para el otro caso, se tiene que dar 2 toques y el estado del relé encendido.

```

void IRAM_ATTR ISR_toques() {
    contador_toques++;
    Serial.print("Contador toques: ");
    Serial.println(contador_toques);
    if (contador_toques == 3 && !(ESTADO_RELÉ)) {
        digitalWrite(RELE, !(ESTADO_RELÉ));
        ESTADO_RELÉ = !(ESTADO_RELÉ);
        contador_toques = 0;
        Serial.print("Contador toques: ");
        Serial.println(contador_toques);
    }
    if (contador_toques == 2 && (ESTADO_RELÉ)){ // Aquí se apaga
        digitalWrite(RELE, !(ESTADO_RELÉ));
        ESTADO_RELÉ = !(ESTADO_RELÉ);
        contador_toques = 0;
        Serial.print("Contador toques: ");
        Serial.println(contador_toques);
    }
}

```

Fig.33. Código de encendido y apagado del Sensor Digital Touch TTP23B.

- ii. Cavidad del TTP23B: La cavidad tiene un largo de 29 mm, un ancho de 28 mm y un grosor de 13 mm. Además, presenta un espacio circular de 14 mm.

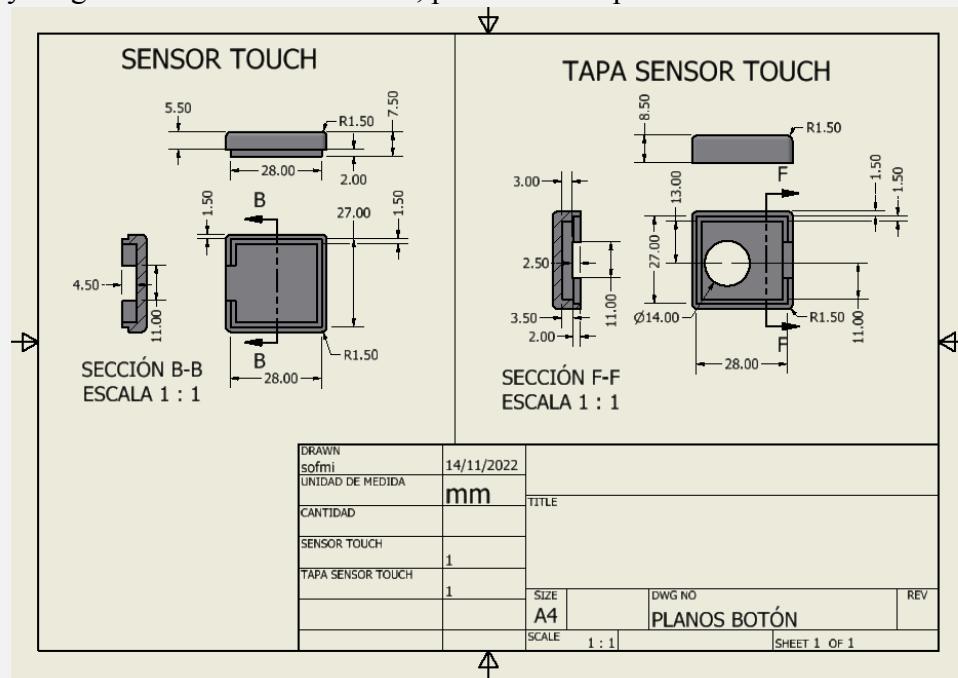


Fig.34. Planos de la cavidad del TTP23B. Fuente: Elaboración propia

Fig.35. Modelado 3D de la cavidad del TTP23B. Fuente: Elaboración propia

- c. Submódulo de adquisición: El sistema consta de tres galgas extensiométricas para la adquisición de las señales de fuerza (parámetros fisiológicos) que se aplican en las zonas de curvatura en la columna vertebral (zona torácica, lumbar y pélvica). Los datos son enviados al submódulo de procesamiento para su interpretación. Cada galga estará ubicada en el interior de una almohadilla. Cabe resaltar la previa calibración de cada celda de carga.

```

LoadCell.tare();
//place known mass
LoadCell.refreshDataSet();
float newCalibrationValue = LoadCell.getNewCalibration(known_mass);

```

Fig.36. Procedimiento simplificado para la calibración de las celdas de carga.

- Arreglo de galgas en puente wheatstone: Para propósitos de simulación se usa una celda de carga de 20 kg que ya tiene este arreglo. Se escogen galgas por su gran sensibilidad y reducido tamaño. Asimismo, el arreglo en puente Wheatstone permite medir con elevada exactitud cambios relativos en la resistencia de una galga extensométrica.
- Cavidad de la almohadilla del sensor: Es la cavidad donde se coloca cada arreglo de galga extensiométrica para el sensor de fuerzas en la curvatura de la columna. Presenta una curva que encaja con el lado lateral de cada zona de corrección (zona torácica, lumbar, pélvica).

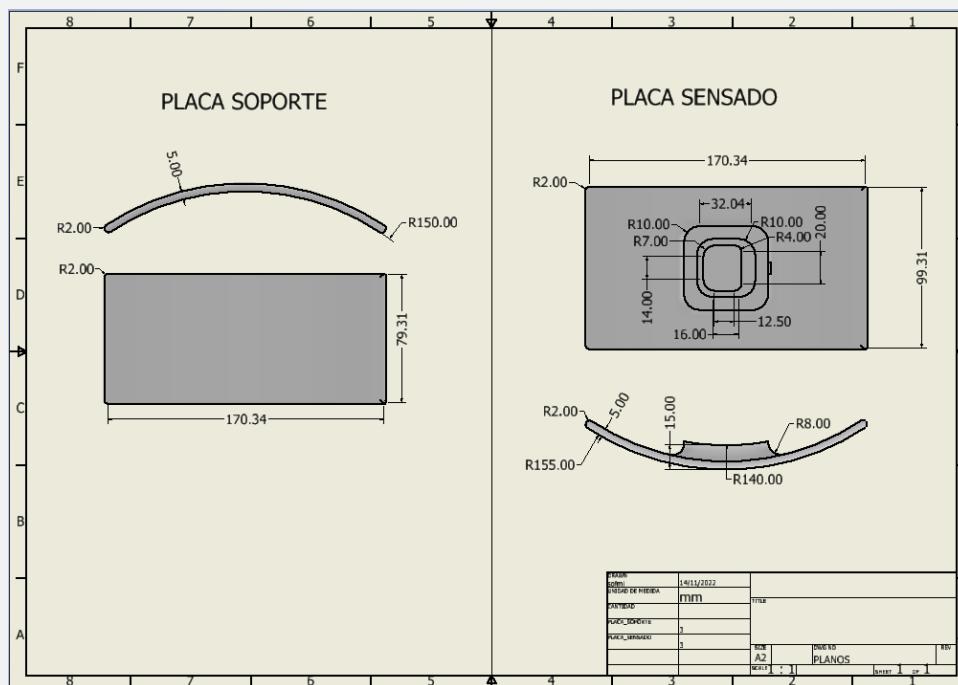


Fig. 36. Planos de la cavidad de la almohadilla del sensor. Fuente: Elaboración propia

Fig. 37. Modelado 3D de la cavidad de la almohadilla del sensor. Fuente: Elaboración propia

- Submódulo de procesamiento: Mediante este submódulo se procesan las señales obtenidas por el submódulo de adquisición y son comparadas con el rango de valores de fuerza definidos en el código para, luego, enviar los datos a la aplicación para su visualización y realizar un ajuste si es menester.
 - Microcontrolador ESP32 Devkit V1-DOIT: El componente consta de 38 pines para conexión. Se eligió debido a su mayor número de pines y su módulo de

conexión Bluetooth integrado para un posible diseño de la aplicación. Para conectar todos los componentes se da uso de los 38 pines completos (dispositivo completo), es decir, se aprovecha el máximo de pines. Gestiona recepción de la amplificación de la señal (previa calibración de las galgas extensiométricas), datos adquiridos, respuesta mecánica, control de energía, respuesta a eventos del usuario.

- ii. Convertidor DC/DC: Para reducir el voltaje entregado por la batería. De este modo se logra aprovechar el amperaje y alimentar al ESP32 con los 3.3V necesarios.
- iii. Transmisor de celda de carga HX711: Se utiliza para amplificar la señal de la diferencia de voltaje que se produce al ejercer una deformación en el arreglo de las galgas extensiométricas de la celda de carga y transmitirlos al microcontrolador para que sean interpretados. Previamente se calibra por medio del código: Calibración de la librería HX711_ADC que permite obtener un factor de conversión de estas señales y traducirlas a valores de masa, para luego poder hacer la conversión de lectura en fuerza.

```

void lectura_modulo_galga()
{
    if(f2 == HIGH) //Esta habilitado rele principal
    {
        if(hx711_galga_1.is_ready())
        {
            //digitalWrite(led2,HIGH );
            long reading_galga_1 = -1*(hx711_galga_1.read()/6423.84)-207;
            Serial.print("Lectura en gramos: ");
            Serial.print(reading_galga_1);
            Serial.print(" Lectura en newtons: ");
            Serial.print(reading_galga_1*pow(10,-3)*(9.807));
            Serial.print("\n");
            dato_salida = (reading_galga_1*pow(10,-3)*(9.807));
            FuerzaSensada = (reading_galga_1*pow(10,-3)*(9.807));
            char HUMP=HP;
            String datos_de_salida;
            datos_de_salida= String ("1,");
            datos_de_salida += FuerzaSensada;
            datos_de_salida += ",";
            datos_de_salida += HP;

            Serial.println(datos_de_salida);
            Serial.println("Enviando un dato 1...");
            SerialBT.print(datos_de_salida);
        }
        //digitalWrite(led2,LOW );
    }
}

```

Fig.38. Código de lectura de una galga.

- iv. Cavidad de la electrónica: En esta cavidad se encuentra el microcontrolador ESP32, el convertidor DC/DC, el HX711 y la memoria MicroSD Esta mide 90x100x20 mm y se ubica en el espaldar de la montura de la ótesis junto con la batería.

- e. Submódulo actuador: El sistema consta de tres motores MG996R, encargados principalmente de realizar el ajuste de fuerzas.
- Servo MG996R Tower Pro: La orientación del giro, así como la velocidad de giro son controladas mediante código (necesario el uso de la librería <AnalogWrite> para microcontroladores basados en ESP32). El giro se produce en respuesta a las variaciones de las señales interpretadas por el módulo de adquisición (datos de fuerza) para que ayude a ajustar o desajustar la órtesis según sea el caso. Posee un buen torque (11Kg), engranajes metálicos y gran robustez, sus dimensiones son: 40.6 x 19.8 x 42.9 mm.

A continuación, se presenta el control de este, a partir de la comparación del valor de la fuerza sensada y fuerzas determinadas como mínima y máxima. De esta forma, se puede ajustar o desajustar el dial.

```

void control_motor()
{
    if(f2 == HIGH) //Esta habilitado rele principal
    {
        if ((FuerzaSensada <= FuerzaMin) || (FuerzaSensada >= FuerzaMax))
        {
            if(FuerzaSensada <= FuerzaMin)
            {
                //digitalWrite(led2,!digitalRead(led2));
                digitalWrite(led2,HIGH );
                digitalWrite(SDTBY_D1,HIGH); //activar_dial_1();pinesDIAL1[3] = {pinPWM01,pinD1IN2,pinD1IN1};
                digitalWrite(pinD1IN2,HIGH); //ajusteAutomatico( pinesDIAL1, adelante, 200 );
                digitalWrite(pinD1IN1,LOW);
                analogWrite(pinPWM01,velocidad);
            }
            if (FuerzaSensada >= FuerzaMax)
            {
                //digitalWrite(led2,!digitalRead(led2));
                digitalWrite(SDTBY_D1,HIGH); //activar_dial_1();
                digitalWrite(pinD1IN2,LOW); //ajusteAutomatico( pinesDIAL1, atras, 200 );
                digitalWrite(pinD1IN1,HIGH);
                analogWrite(pinPWM01,velocidad);
            }
        }
        else
        {
            digitalWrite(pinD1IN2,LOW); //Parar giro del motor
            digitalWrite(pinD1IN1,LOW);
            analogWrite(pinPWM01,0);
            digitalWrite(SDTBY_D1,LOW); //desactiva modulo
        }
    }
}

```

Fig.39. Función para ejecutar el ajuste automático de un dial.

- Soporte de espalda: Soporte para las bandas, de forma que sea posible ajustarlas y tensionar a la altura de una almohadilla para corregir la curvatura de la columna.
- Dial de ajuste: Presenta un diámetro circular de 68mm con un grosor de 30mm. Es la cavidad principal de ajuste donde se encuentran el micromotor DC de 1000 RPM y el Driver. Cabe destacar que esta es la última versión de diseño, ya que anteriormente hubo versiones del dial que no fueron completamente funcionales, no obstante, se pudo verificar los errores.

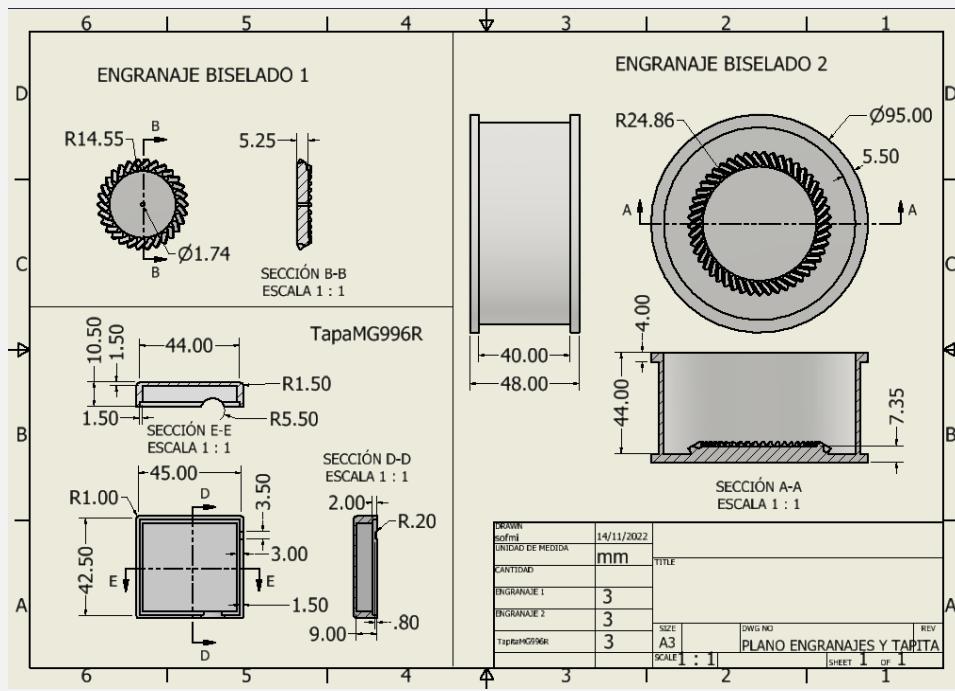


Fig.38. Planos del sistema de engranaje y la cavidad para el servo MG996R.
Fuente: Elaboración propia

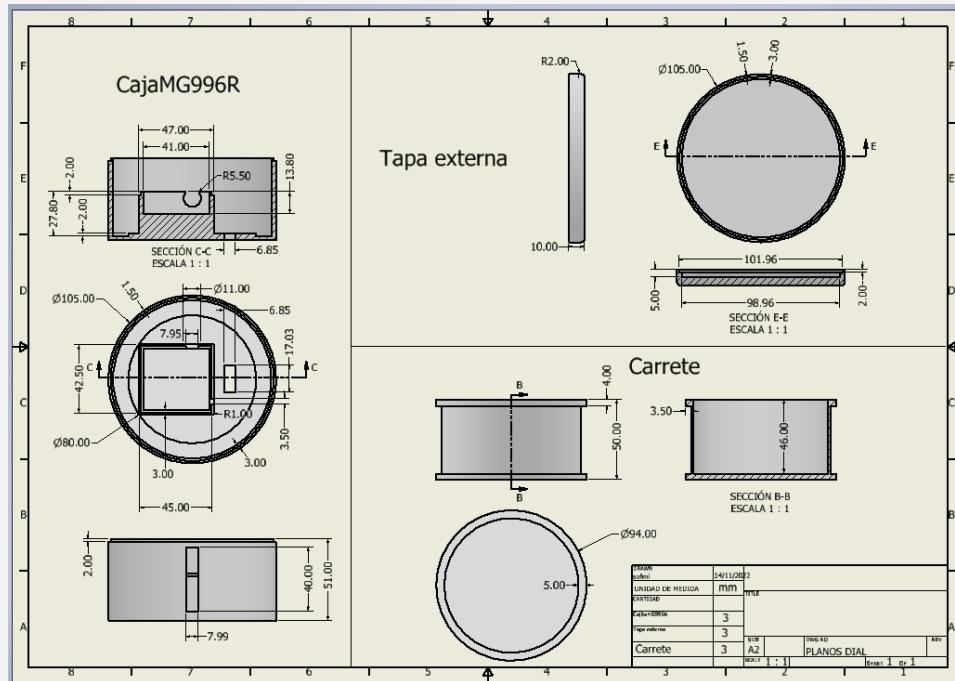


Fig.39. Planos de la cavidad del Dial de Ajuste. Fuente: Elaboración propia

Fig.40. Modelado del sistema de engranaje y la cavidad para el servo MG996R.
Fuente: Elaboración propia

Fig.41. Modelado 3D del Dial de Ajuste. Fuente: Elaboración propia

Se conectó un sistema de engranajes cónicos helicoidales en un ángulo de 90° , donde el engranaje mayor contiene un labio interior para colocar la cuerda de

ajuste. Asimismo, la cavidad del driver se encuentra en la parte superior del dial para conectarlo tanto al ESP32 como al micromotor.

f. Diagrama de flujo del usuario:

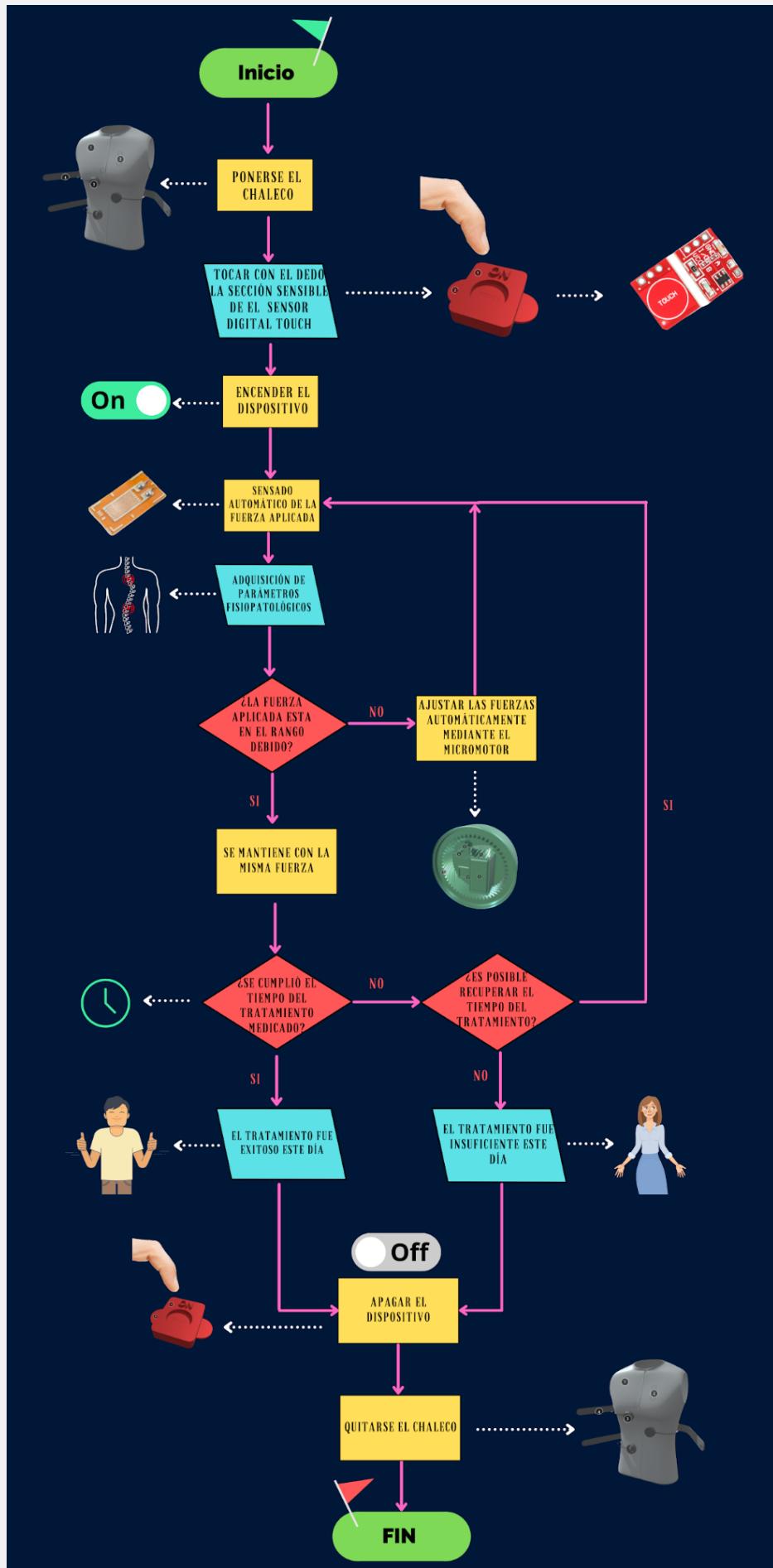
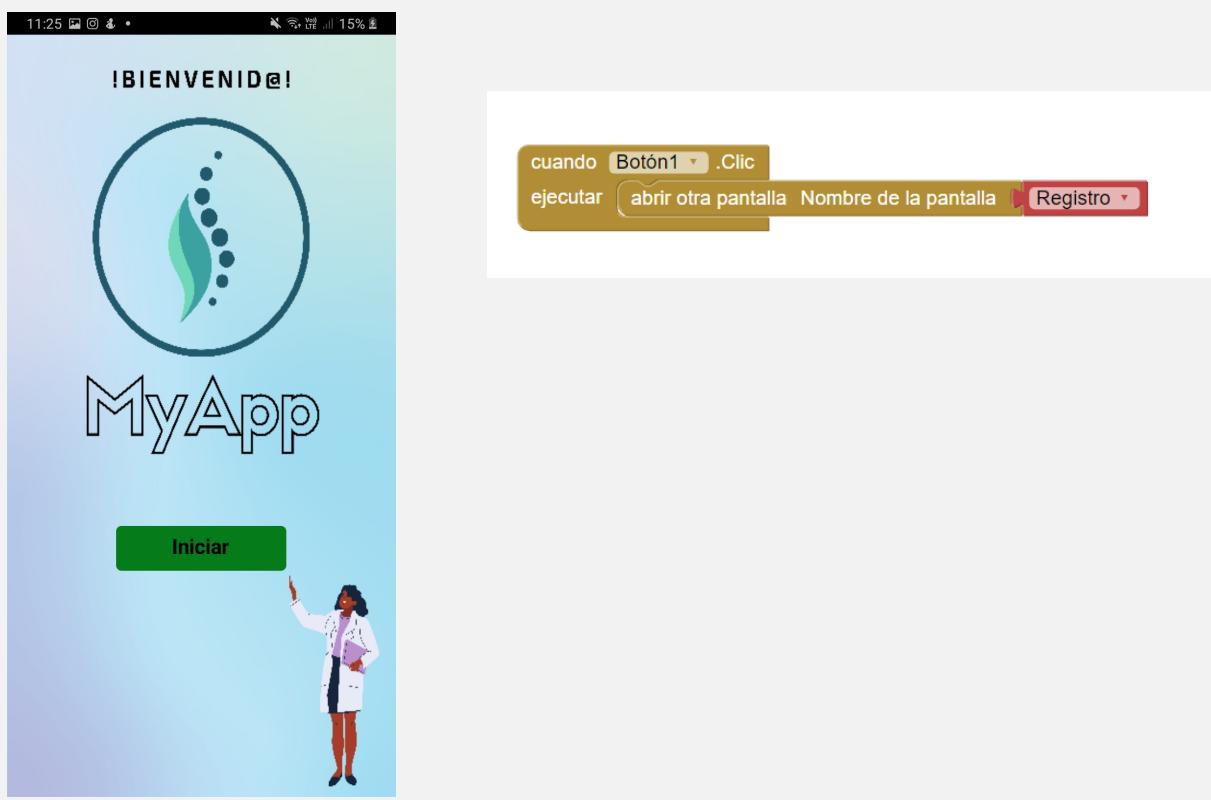


Fig.42. Diagrama de flujo

g. Aplicación móvil:

La App fue desarrollada en el software libre en línea MIT App Inventor, se procederá a explicar cada una de las etapas que lo componen:

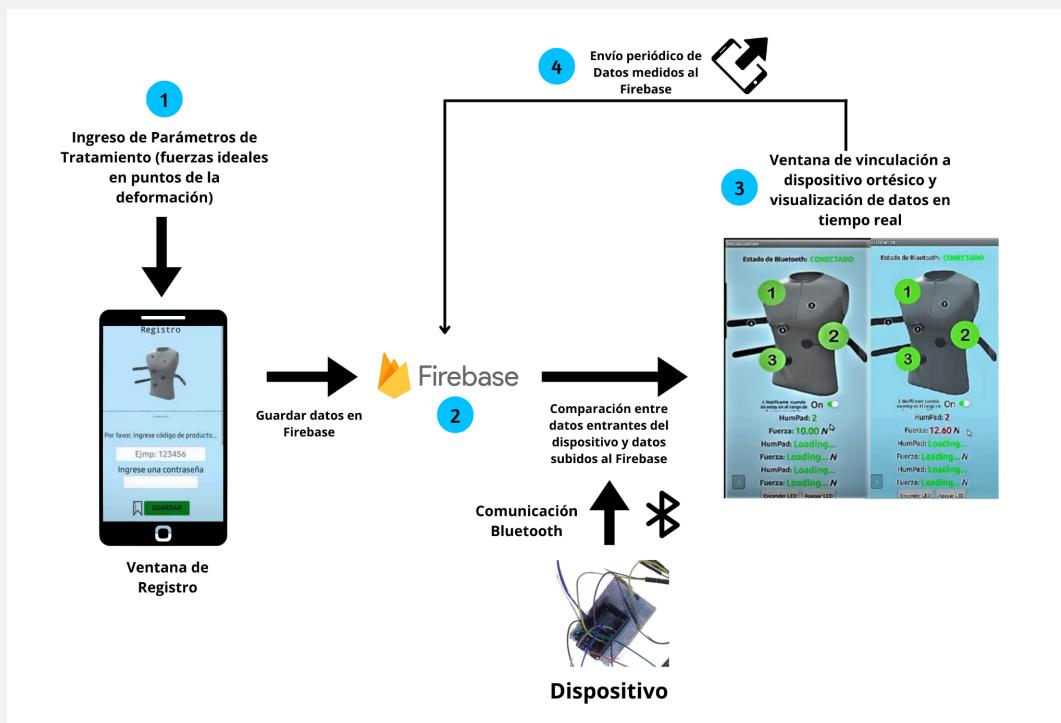
- Ventana de INICIO donde se muestra el logo de la aplicación, cuando se presiona el botón “Iniciar” se traslada al usuario a una zona donde puede ingresar a la ventana de registro, una imagen de la interfaz se presenta a continuación con su respectivo código en bloques:



- Ventana de registro:

En esta ventana el usuario puede ingresar los datos relacionados a su producto para crear un id único en la base de datos Firebase conectado a la aplicación, esta se usa para poder solventar el inconveniente de que la aplicación no guarda en memoria interna los datos del usuario, además que permite liberar al celular de información. La información enviada a la base de datos consta de el id del usuario en formato de código de números y una contraseña. Luego podrá ingresar los datos sobre las fuerzas de tratamiento designado por el personal médico, si uno de estos campos falta no dejará pasar al modo de vinculación bluetooth. Una vez que el usuario y contraseña coinciden se podrá pasar al estado de vinculación con la órtesis para enviar periódicamente los datos medidos de los sensores mecánicos conocidos como celdas de carga.

Esperamos que la aplicación se comporte de la siguiente manera:



La interfaz de esta sección se ve como se muestra a continuación:



Y el código en bloques lo podemos ver a continuación:



- Ventana de Inicialización:

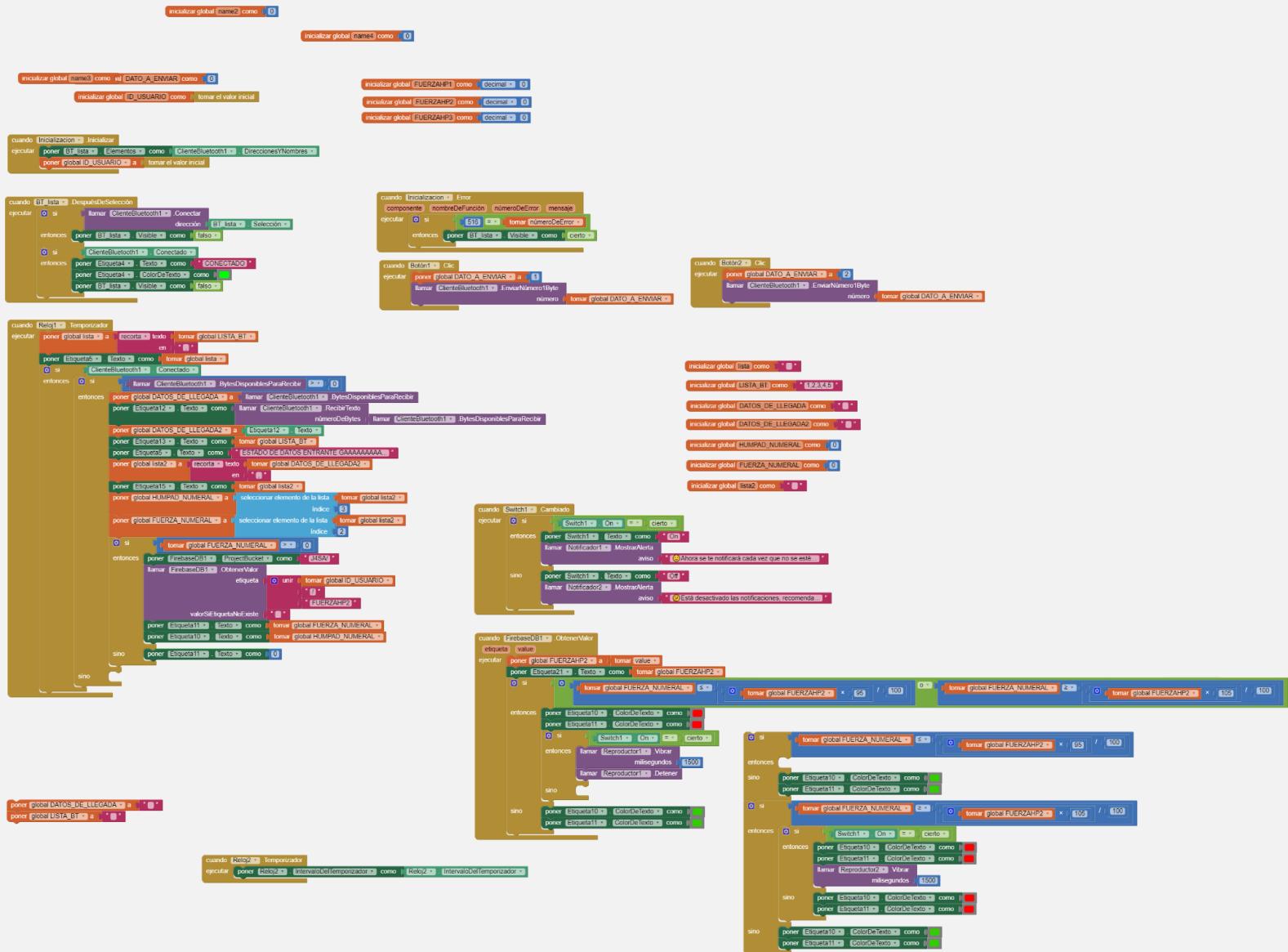
En esta sección se nos permite obtener los datos sobre las fuerzas de tratamiento obtenidas en la sección anterior, con lo que sirve para poder compararlos directamente desde que podemos obtener los datos directamente desde la base de datos. Además permitimos el uso de un cliente Bluetooth con una tasa de refresco para la obtención de datos de 10 ms para que sea lo más fluida posible, de este modo los datos serán mostrados en tiempo real. Cuando los valores obtenidos a través de un tipo de datos String que almacena la fuerza medida en ese momento y el número de almohadilla con la que se está midiendo estén fuera de una rango admisible de un +- 5% de la fuerza ideal del tratamiento ya sea mayor o menor los números se pondrán en color rojo, y si se está siguiendo el tratamiento los números se mostrarán con un color verde.

Contamos además con dos botones para encender y apagar el sistema directamente desde el celular del usuario para brindar más comodidad a éste de modo que podemos controlar el módulo relé que proporciona la alimentación a todos los componentes del sistema excepto al sensor capacitivo TTP223VB.

La interfaz desconectada (no vinculada al ESP32) se muestra continuación:



El código de bloques para esta sección también se muestra a continuación:



Una imagen de la base de datos con los datos cargados de un usuario X se muestra a continuación:

The screenshot shows the Firebase Realtime Database interface at the URL <https://myapp-572d4-default.firebaseio.com/>. The database structure is as follows:

```
https://myapp-572d4-default.firebaseio.com/ + 🗑️
  J4SA
    99
      CONTRASENHA: "77"
      ESTADO: "1"
      FUERZAHP1: "77"
      FUERZAHP2: "9"
      FUERZAHP3: "77"
    1234
      CONTRASENHA: "1234"
      ESTADO: "1"
```

The database contains two users, 'J4SA' and '1234'. User 'J4SA' has three children: '99', '1234', and another unnamed child. The '99' child has five properties: 'CONTRASENHA' (password), 'ESTADO' (state), 'FUERZAHP1', 'FUERZAHP2', and 'FUERZAHP3', all with the value '77'. The '1234' child has two properties: 'CONTRASENHA' with the value '1234' and 'ESTADO' with the value '1'.

Para poder ver la aplicación en tiempo real se puede ahondar su exploración en el video de testeo donde se prueba por etapas.

3.3 Experimentos enfocados de las funciones y/o experiencias críticas. Usar la “matriz de retroalimentación” como herramienta de testeo. Recuerde que debe validar la sub función crítica más importante del prototipo. Para esto se recomienda que la persona de prueba sea un profesor.

La prueba del prototipo fue realizada en un miembro del equipo de trabajo, específicamente en Jorge Medina Céliz, el cual detalló su experiencia de uso en la matriz de retroalimentación que se encuentra adjunta. La sub función crítica más importante del prototipo que se validó fue el envío de datos a través de la aplicación usando Bluetooth y controlando el encendido y apagado del dispositivo.

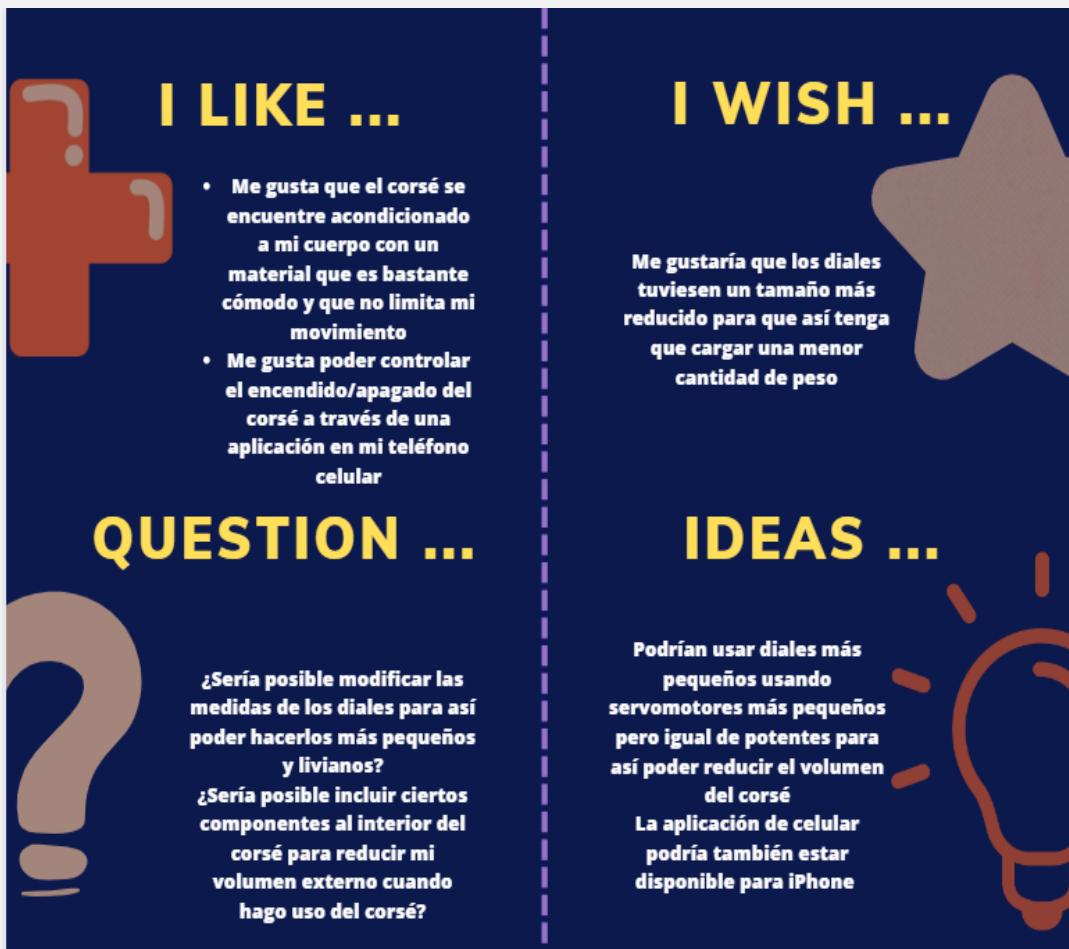


Fig.43. Matriz de retroalimentación.

REFERENCIAS:

- [1] M. Konieczny, H. Senyurt and R. Krauspe, "Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis", *Journal of Children's Orthopaedics*, vol. 7, no. 1, pp. 3-9, 2013. Disponible en: 10.1007/s11832-012-0457-4 [Accessed 26 August 2022].
- [2] O. Yaman and S. Dalbayrak, "Idiopathic scoliosis", *Turkish Neurosurgery*, 2013. Disponible en: 10.5137/1019-5149.jtn.8838-13.0 [Accessed 26 August 2022].
- [3] S. Weinstein, L. Dolan, J. Cheng, A. Danielsson and J. Morcuende, "Adolescent idiopathic scoliosis", *The Lancet*, vol. 371, no. 9623, pp. 1527-1537, 2008. Disponible en: 10.1016/s0140-6736(08)60658-3 [Accessed 26 August 2022].
- [4] A. Safari, H. Parsaei, A. Zamani and B. Pourabbas, "A Semi-Automatic Algorithm for Estimating Cobb Angle", *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, vol. 9, no. 3, 2019. Disponible en: 10.31661/jbpe.v9i3jun.730 [Accessed 26 August 2022].
- [5] C. Slattery, K. Verma, "Classifications in Brief: The Lenke Classification for Adolescent Idiopathic Scoliosis". *Clinical orthopaedics and related research*. 2018. Disponible en: <https://europepmc.org/backend/ptpmcrender.fcgi?accid=PMC6259994&blobtype=pdf>
- [6] M. Bulman et al., "Mutations in the human Delta homologue, DLL3, cause axial skeletal defects in spondylocostal dysostosis", *Nature Genetics*, vol. 24, no. 4, pp. 438-441, 2000. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/74307>
- [7] B. virtual, "Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y el Tratamiento de Escoliosis Idiopática: Traumatología.", Disponible en: <https://bibliotecavirtual.insnsb.gob.pe/guia-de-practica-clinica-para-el-diagnostico-y-el-tratamiento-de-escoliosis-idiopatica-traumatologia/> [Accessed 30 July 2022].
- [8] POSNA (Sociedad Ortopédica Pediátrica de Norte América). "Escoliosis idiopática en niños y adolescentes (Idiopathic Scoliosis in Children and Adolescents)". Disponible en: <https://orthoinfo.aaos.org/es/diseases--conditions/escoliosis-idiopatica-en-ninos-y-adolescentes-idiopathic-scoliosis/>

- [9] Escalza Jiménez, A., 2020. ORCID. [En línea] Orcid.org. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0002-5408-6263>. [Accessed 14 September 2022]
- [10] Álvarez García de Quesada, L. and Núñez Giralda, A., 2022. *Escoliosis idiopática*. [En línea] Revista Pediatría de Atención Primaria • Vol. XIII. N.º 49. Enero/marzo 2011. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322011000100014. [Accessed 14 September 2022].
- [11] Weinstein S, Dolan L, Wright J, Dobbs M. Effects of Bracing in Adolescents with Idiopathic Scoliosis. *New England Journal of Medicine*. 2013;369(16):1512-1521.
- [12] BOZZIO A, HU X, LIEBERMAN I. Cost and Clinical Outcome of Adolescent Idiopathic Scoliosis Surgeries—Experience From a Nonprofit Community Hospital. *International Journal of Spine Surgery*. Disponible en: 2019;13(5):474-478.
- [13] B. Raudenbush, D. Gurd, R. Goodwin, T. Kuivila and R. Ballock, "Cost analysis of adolescent idiopathic scoliosis surgery: early discharge decreases hospital costs much less than intraoperative variables under the control of the surgeon", *Journal of Spine Surgery*, vol. 3, no. 1, pp. 50-57, 2017. Disponible en: 10.21037/jss.2017.03.11.
- [14] I. Ikuezunma, K. Wang, A. Margalit, P. Sponseller and A. Jain, "Cost-utility Analysis Comparing Bracing Versus Observation for Skeletally Immature Patients with Thoracic Scoliosis", *Spine*, vol. 46, no. 23, pp. 1653-1659, 2021. Disponible en: 10.1097/brs.0000000000004189 [Accessed 13 September 2022].
- [15] "Spinal Cord Injuries: Practice Essentials, Background, Anatomy", *Emedicine.medscape.com*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://emedicine.medscape.com/article/793582-overview#a30>. [Accessed: 13- Sep- 2022].
- [16] T. Russell et al., "Healthcare disparities in adolescent idiopathic scoliosis: the impact of socioeconomic factors on Cobb angle", *Spine Deformity*, vol. 8, no. 4, pp. 605-611, 2020. Disponible en: 10.1007/s43390-020-00097-2.
- [17] T. Lin et al., "Influence of Insurance Status on Curve Magnitude in Adolescent Idiopathic Scoliosis in Mainland China", *Global Spine Journal*, vol. 10, no. 6, pp. 754-759, 2019. Disponible en: 10.1177/2192568219875121 [Accessed 13 September 2022].
- [18] R. Carregaro, E. da Silva and M. van Tulder, "Direct healthcare costs of spinal disorders in Brazil", *International Journal of Public Health*, vol. 64, no. 6, pp. 965-974, 2019. Disponible en: 10.1007/s00038-019-01211-6.
- [19] 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.rimac.com.pe/uploads/Calculo_Reembolso.pdf. [Accessed: 13- Sep- 2022].
- [20] [13]H. Cayetano Heredia, "Tarifa 2017", Peru.gob.pe, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/13147/PLAN_13147_2017_TARIFARIO_HCH_MARZO_2017-ILOVEPDF-COMPRESSED.PDF. [Accessed: 13- Sep- 2022].
- [21] A. Vázquez-Lazarte, C. Berta-Benites and F. Runzer-Colmenares, "Frecuencia de escoliosis idiopática del adolescente en alumnos de secundaria en seis colegios de Lima Norte", *Horizonte Médico* (Lima), vol. 20, no. 4, p. e1172, 2020.
- [22] P. Mahaudens, A.V. Bruyneel, "Escoliosis idiopática: evidencias científicas e implicaciones clínicas". *Kinesiterapia – Medicina física*, vol 41, no.1, pp.1-14, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://bibvirtual.upch.edu.pe:2051/#/content/eme/51-s2.0-S1293296519432866>
- [23] S.L. Weinstein, L.A. Dolan, J.C. Cheng, A. Danielsson, J.A. Morcuende JA, "Escoliosis idiopática del adolescente". *Lanceta*, 2008 [En línea]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18456103/>
- [24] G. Pyatakova, O. Okoneshnikova, A. Kozhevnikova and S. Vissarionov, "Psychological aspects of treatment and rehabilitation of patients with adolescent idiopathic scoliosis: research analysis", *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*, vol. 7, no. 2, pp. 103-115, 2019. Disponible en: 10.17816/ptors72103-115 [Accessed 14 September 2022].
- [25] M. Leal-Hernández, F. Martínez-Monje, M. Pérez-Valencia, R. García-Romero, R. Mena-Poveda and J. Caballero-Cánovas, "Análisis de la calidad de vida en los pacientes afectos de escoliosis vertebral", *Medicina de Familia. SEMERGEN*, vol. 44, no. 4, pp. 227-233, 2018. Disponible en: 10.1016/j.semerg.2016.11.011 [Accessed 14 September 2022].
- [26] Climent JM, Cholbi Llobell F, Rodríguez Ruiz C, Mulet Perry S, Mendéjar Gómez F, Pradas Silvestre J. La medida de la salud en la escoliosis. *Rehabilitación*. 2009; 43(6):299-305.
- [27] Carreon LY, Sanders JO, Diab M, Sucato DJ, Sturm PF, Glassman SD. The minimum clinically important difference in Scoliosis Research Society-22 Appearance, Activity, and Pain Domains after surgical correction of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010; 35(23):2079-83.
- [28] Weinstein SL, Dolan LA, Cheng JCY, Danielsson A, Morcuende JA. Adolescent idiopathic scoliosis. *Lancet* [Internet]. 2008 Mar [cited 2015 Mar 30]; 371(9623):1527-37. Disponible en: from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T1B-4SDGP8F12/2/69bcb5753f6b09ab5f633b1cbdf6ea3a>
- [29] A. Sanders, L. Andras, S. Iantorno, A. Hamilton, P. Choi and D. Skaggs, "Clinically Significant Psychological and Emotional Distress in 32% of Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients*", *Spine Deformity*, vol. 6, no. 4, pp. 435-440, 2018. Disponible en: 10.1016/j.jspd.2017.12.014 [Accessed 13 September 2022].
- [30] G. Pyatakova, O. Okoneshnikova, A. Kozhevnikova and S. Vissarionov, "Psychological aspects of treatment and rehabilitation of patients with adolescent idiopathic scoliosis: research analysis", *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*, vol. 7, no. 2, pp. 103-115, 2019. Disponible en: 10.17816/ptors72103-115 [Accessed 13 September 2022].

- [31] M. Robles, G. Sánchez and A. Reyes, "Detección temprana de la escoliosis idiopática del adolescente: una estrategia en controversia", Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM, vol. 59, no. 4, 2016. Disponible en: Link. [Accessed 25 August 2022].
- [32] M. Burton, "Diagnosis and Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis", Pediatric Annals, vol. 42, no. 11, 2013. Disponible en: <https://journals.healio.com/doi/10.3928/00904481-20131022-09>. [Accessed 13 September 2022].
- [33] M. Farshad, T. Götschi, D. Bauer, T. Böni, C. Laux and M. Kabelitz, "Long-term outcome of patients with adolescent idiopathic scoliosis seeking nonoperative treatment after a mean follow-up of 42 years", Spine Deformity, 2022. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43390-022-00541-5>. [Accessed 13 September 2022].
- [34] L. Dolan, S. Donzelli, F. Zaina, S. Weinstein and S. Negrini, "Adolescent Idiopathic Scoliosis Bracing Success Is Influenced by Time in Brace", Spine, vol. 45, no. 17, pp. 1193-1199, 2020. Available: 10.1097/brs.00000000000003506 [Accessed 14 September 2022].
- [35] S. Weinstein, L. Dolan, J. Wright and M. Dobbs, "Effects of Bracing in Adolescents with Idiopathic Scoliosis", New England Journal of Medicine, vol. 369, no. 16, pp. 1512-1521, 2013. Available: 10.1056/nejmoa1307337 [Accessed 14 September 2022].
- [36] R. Hawary, D. Zaaroor-Regev, Y. Floman, B. Lonner, Y. Alkhalife and R. Betz, "Brace treatment in adolescent idiopathic scoliosis: risk factors for failure—a literature review", The Spine Journal, vol. 19, no. 12, pp. 1917-1925, 2019. Available: 10.1016/j.spinee.2019.07.008 [Accessed 14 September 2022].
- [37] Epidemiology Morbidity And Mortality. Statpearls Publishing. Hernandez, J., & Kim, P. (2020). Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547668/>
- [38] VAZQUEZ-LAZARTE, Ana Sofía; BERTA-BENITES, Carlos Alberto; RUNZER-COLMENARES, Fernando M.. Frecuencia de escoliosis idiopática del adolescente en alumnos de secundaria en seis colegios de Lima Norte. Horiz. Med., Lima , v. 20, n. 4, e1172, oct. 2020 . Disponible en <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-558X2020000400005&lng=es&nrm=iso>. accedido en 25 agosto 2022. <http://dx.doi.org/10.24265/horizmed.2020.v20n4.05>.
- [39] Grivas TB, Wade M H, Negrini S, O'Brien J P, Maruyama T, Hawes M C, Rigo M, Weiss H R, Kotwicki T, Vasiliadis E S, Sulam L N & Neuhous T. SOSORT Consensus paper: school screening for scoliosis. Where are we today? Scoliosis, 2:17, 2007.
- [40] L. Deng, Y. Hu, J. Cheung and K. Luk, "A Data-Driven Decision Support System for Scoliosis Prognosis", IEEE Access, vol. 5, pp. 7874-7884, 2017. Disponible en: 10.1109/access.2017.2696704 [Accessed 14 September 2022].
- [41] R. Fayssoux, R. Cho and M. Herman, "A History of Bracing for Idiopathic Scoliosis in North America", Clinical Orthopaedics & Related Research, vol. 468, no. 3, pp. 654-664, 2010. Disponible en: 10.1007/s11999-009-0888-5 [Accessed 14 September 2022].
- [42] H. Yang, X. Jia and Y. Hai, "Posterior minimally invasive scoliosis surgery versus the standard posterior approach for the management of adolescent idiopathic scoliosis: an updated meta-analysis", Journal of Orthopaedic Surgery and Research, vol. 17, no. 1, 2022. Disponible en: 10.1186/s13018-022-02954-4 [Accessed 25 August 2022].
- [43] A. Charalampidis, L. Rundberg, H. Möller and P. Gerdhem, "Predictors of persistent postoperative pain after surgery for idiopathic scoliosis", Journal of Children's Orthopaedics, vol. 15, no. 5, pp. 458-463, 2021. Disponible en: 10.1302/1863-2548.15.210090 [Accessed 25 August 2022].
- [44] M. Lenz et al., "Scoliosis and Prognosis—a systematic review regarding patient-specific and radiological predictive factors for curve progression", European Spine Journal, vol. 30, no. 7, pp. 1813- 1822, 2021. Disponible en: 10.1007/s00586-021-06817-0 [Accessed 8 August 2022].
- [45] Borden TC, Bellaire LL, Fletcher ND. Improving perioperative care for adolescent idiopathic scoliosis patients: the impact of a multidisciplinary care approach. J Multidiscip Healthc. 2016;9:435-445. Published 2016 Sep 14. doi:10.2147/JMDH.S9531
- [46] O. Al-Mohrej, S. Aldakhil, M. Al-Rabiah and A. Al-Rabiah, "Surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis: Complications", Annals of Medicine and Surgery, vol. 52, pp. 19-23, 2020. Disponible en: 10.1016/j.amsu.2020.02.004 [Accessed 14 September 2022].
- [47] I. Loukos, C. Zachariou, C. Nicolopoulos, D. Korres, and N. Efstathopoulos, "Analysis of the corrective forces exerted by a dynamic derotation brace (DDB)," Prosthet. Orthot. Int., vol. 35, no. 4, pp. 365-372, Dec. 2011, doi: 10.1177/0309364611420477
- [48] C. Götze, A. Slomka, H. G. Götze, W. Pötzl, U. Liljenqvist, and J. Steinbeck, "Langzeitergebnisse der Lebensqualität nach Harrington-Distraktionsspondylodese bei idiopathischen Thorakalskoliosen und deren gutachterliche Relevanz," Z. Für Orthop. Ihre Grenzgeb., vol. 140, no. 5, pp. 492-498, Sep. 2002, doi: 10.1055/s-2002-34007.
- [49] A. Bruyneel, P. Mahaudens. Estrategia de rehabilitación de la escoliosis idiopática de la adolescencia. EMC - Kinesiterapia - Medicina Física. 2020. Disponible en:[https://doi.org/10.1016/S1293-2965\(20\)44245-8](https://doi.org/10.1016/S1293-2965(20)44245-8)
- [50] Compendio Estadístico: Información de Recursos Humanos del Sector Salud Perú 2013 - 2021. Ministerio de Salud (MINSA). 2021. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/5883.pdf>
- [51] "Manual Institucional", Essalud.gob.pe, 2008. [En línea]. Disponible en: http://www.essalud.gob.pe/defensoria/manual_institucional.pdf. [Accessed: 13- Sep- 2022].
- [52] "CONVENIO DE COLABORACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL INSTITUTO NACIONAL DE SALUD DEL NIÑO SAN BORJA-INSNSB Y EL SEGURO SOCIAL DE SALUD-ESSALUD", Insnsb.gob.pe, 2018. [En línea].

Disponible

en:

[https://www.insnsb.gob.pe/docs-trans/Informacion-Adicional/CONVENIO%20ENTRE%20ESSALUD%20Y%20EL%20INSNSB%20\(14.11.18\).pdf](https://www.insnsb.gob.pe/docs-trans/Informacion-Adicional/CONVENIO%20ENTRE%20ESSALUD%20Y%20EL%20INSNSB%20(14.11.18).pdf). [Accessed: 13- Sep- 2022].

[53] Y. Díaz and M. Jave, "FACTORES ASOCIADOS A LA ESCOLIOSIS IDIOPATICA EN NIÑOS Y NIÑAS EN ETAPA ESCOLAR ATENDIDOS EN LA CLÍNICA SAN JUAN DE DIOS, DURANTE ENERO - DICIEMBRE DEL 2015", *Repositorio.udch.edu.pe*, 2016. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.udch.edu.pe/bitstream/UDCH/703/1/%28TO44_72157838%29%28TO44_71221474%29.pdf. [Accessed: 13- Sep- 2022]

[54] S. Negrini et al., "2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth", *Scoliosis and Spinal Disorders*, vol. 13, no. 1, 2018. Disponible en: 10.1186/s13013-017-0145-8 [Accessed 14 September 2021].

[55] Kamtsiuris P, Atzpodien K, Ellert U, Schlack R, Schlaud M., Prevalence of somatic diseases in German children and adolescents. Results of the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS), *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50(5–6):686–700, 2007.

[56] J.P. Otto, J. García Molina y A. Chahín, "Escoliosis idiopática del adolescente de bajo grado". *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol 31, pp 417-422, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864020300651>

[57] A. Bermeo, T. Katherine, J. Chancay, K. Maholy, "Prevalencia de la escoliosis idiopática en adolescentes". [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/43934/1/CD%203074-%20BERMEO%20TARAMUEL%20KATHERINE%20ACKELINE%2c%20GAYBOR%20CHANCAY%20KARLA%20MAHOLY.pdf>

[58] P. C. Curbelo-Nova, C. Silveri, A. Cuneo, "Escoliosis idiopática del adolescente, análisis postoperatorio. Serie de casos". *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, vol. 35, no. 2, pp. 126–132, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-ortopedia-traumatologia-380-articulo-escoliosis-idiopatica-del-adolescente-analisis-S0120884521000377>

[59] Unidad de Epidemiología y Salud Ambiental, "ANÁLISIS SITUACIONAL DE SALUD 2018 HOSPITAL DE REHABILITACIÓN DEL CALLAO" [En línea]. Disponible en: https://www.hrcallao.gob.pe/pdf/ASIS_2018_HRC.pdf

[60] A. S. Vázquez-Lazarte, C. A. Berta-Benites, F. M. Runzer-Colmenares, "Frecuencia de escoliosis idiopática del adolescente en alumnos de secundaria en seis colegios de Lima Norte," *Horizonte Médico* (Lima), vol. 20, no. 4, p. e1172, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.horizontemedico.usmp.edu.pe/index.php/horizontemed/article/view/1172>

[61] ".: REUNIS :. Repositorio Único Nacional de Información en Salud - Ministerio de Salud", *Minsa.gob.pe*, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.minsa.gob.pe/reunis/data/morbilidad_HIS.asp.

[62] J. Hernandez and P. Kim, "Epidemiology Morbidity And Mortality", *Ncbi.nlm.nih.gov*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547668/>. [Accessed: 13- Sep- 2022].

[63] I.B. Carrasco y C. Ruiz Solano, "Vivencias de las jóvenes diagnosticadas de escoliosis idiopática". *Enfermería Global*, vol.15 no.44, 2016 [En línea]. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1695-61412016000400002

Artículos científicos:

[64] E. Lou, J. Raso, D. Hill and N. G. Durdle, "A low power wireless load monitoring system for the treatment of scoliosis" in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 51, no. 5, pp. 908-911, Oct. 2002, doi: 10.1109/TIM.2002.807792.

[65] Chung, Chloe Ly , "Scoliosis Analog Model for the Evaluation of Bracing Technology" (2015). Theses and Dissertations (ETD). Paper 445. <http://dx.doi.org/10.21007/etd.cghs.2015.0430>.

[66] B. Cote, J. Dansereau, H. Labelle, and S. Reinecke, "A method for the measurement of the boston brace biomechanical action on scoliotic deformities," in Proc. Int. Symp. 3-D Scoliotic Deformities, Montreal, QC, Canada, June 27–30, 1992, pp. 81–88.

[67] M. Bazzarelli, N. G. Durdle, E. Lou and V. J. Raso, "A wearable computer for physiotherapeutic scoliosis treatment," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 52, no. 1, pp. 126-129, Feb. 2003, doi: 10.1109/TIM.2003.809485.

[68] E. Lou, S. Venkateswaran, D. L. Hill, J. V. Raso and A. Donauer, "An intelligent active brace system for the treatment of scoliosis," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 53, no. 4, pp. 1146-1151, Aug. 2004, doi: 10.1109/TIM.2004.831458.

[69] André Ivaniski Mello[a], Ana Carolina Kanitz[b] , Flávia Gomes Martinez[a]*, Non-invasive interventions in idiopathic scoliosis: a systematic review, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brazil. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG, Brazil, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5918.030.S01.AR02>

[70] S. Bansode, T. Shinde, M. Nimmagadda, S. Garapati and I. Abdel-Qader, "Design and implementation of regulated-pressure brace with on-board control and monitoring abilities for the treatment of scoliosis," 2017 Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICECCT.2017.8117983.

- [71] J. -H. Park, P. R. Stegall, D. P. Roye and S. K. Agrawal, "Robotic Spine Exoskeleton (RoSE): Characterizing the 3-D Stiffness of the Human Torso in the Treatment of Spine Deformity," in IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 26, no. 5, pp. 1026-1035, May 2018, doi: 10.1109/TNSRE.2018.2821652.
- [72] C. Hui, J. Piao, M. Wong and Z. Chen, "Study of Textile Fabric Materials used in Spinal Braces for Scoliosis", *Journal of Medical and Biological Engineering*, vol. 40, no. 3, pp. 356-371, 2020. Available: 10.1007/s40846-020-00516-9.
- [73] O. Ho-Yi Fung et al., "Exploring mass customization and textile application in medical products: re-designing scoliosis brace for shorter production lead time and better quality of life", *Textile Research Journal*, vol. 90, no. 19-20, pp. 2304-2321, 2020. Available: 10.1177/0040517520916922.
- [74] Z. C, "Therapeutic Effect of Brace on Adolescent Idiopathic Scoliosis", *Epidemiology International Journal*, vol. 6, no. 1, 2022. Available: 10.23880/eij-16000229.
- [75] Ali, A.; Fontanari, V.; Fontana, M. and Schmölz, W. (2021). **Soft Active Dynamic Brace for Spinal Deformities**. In *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies - BIODEVICES*, ISBN 978-989-758-490-9; ISSN 2184-4305, pages 169-174. DOI: 10.5220/0010343301690174

Sistemas comerciales:

- [76]. A. Ali, V. Fontanari, M. Fontana and W. Schmölz, "Spinal Deformities and Advancement in Corrective Orthoses", *Bioengineering*, vol. 8, no. 1, p. 2, 2020. Available: <https://www.mdpi.com/2306-5354/8/1/2>. [Accessed 4 October 2022].
- [77]. E. Lou, N. Durdle, V. Raso and D. Hill, "A system for measuring pressures exerted by braces in the treatment of scoliosis", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 43, no. 4, pp. 661-664, 1994. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/310185>. [Accessed 4 October 2022].
- [78]. A. Piazzolla et al., "Maria Adelaide brace in the management of Scheuermann's Kyphosis", *Spine Deformity*, vol. 9, no. 2, pp. 549-557, 2020. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43390-020-00225-y>. [Accessed 4 October 2022].
- [79]. C. Wong, J. Yip, K. Yick and Z. Ng, "A Case Study of Initial In-Brace Spinal Correction of Anisotropic Textile Brace and Boston Brace", *Advances in Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices*, vol. 263, pp. 109-115, 2021. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-80744-3_14. [Accessed 4 October 2022].
- [80]. L. Piantoni et al., "Quality of life and patient satisfaction in bracing treatment of adolescent idiopathic scoliosis", *Scoliosis and Spinal Disorders*, vol. 13, no. 1, 2018. Available: <https://scoliosisjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13013-018-0172-0#citeas>. [Accessed 4 October 2022].
- [81]. H. Wang et al., "Exploration of Contributory Factors to an Unpleasant Bracing Experience of Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients a Quantitative and Qualitative Research", *Children*, vol. 9, no. 5, p. 635, 2022. Available: 10.3390/children9050635 [Accessed 4 October 2022].
- [82]. S. Rahimi, R. Vahab Kashani, F. Saeed Ershadi and M. Karimlo, "Comparing In-brace Correction, Compliance, and Quality of Life Between Milwaukee and Lyon Braces in Adolescents With Thoracic Hyperkyphosis", 2019. [Online]. Available: <http://ptj.uswr.ac.ir/article-1-428-en.html>. [Accessed: 04- Oct- 2022].
- [83] Morningstar, Mark. (2013). Outcome observations in patients using a scoliosis activity suit: A retrospective chart review after one-year follow-up.. *Journal of Scoliosis Rehabilitation*.
- [84] Coillard, C., Vachon, V., Circo, A. B., Beauséjour, M., & Rivard, C. H. (2007). Effectiveness of the SpineCor brace based on the new standardized criteria proposed by the scoliosis research society for adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of pediatric orthopedics*, 27(4), 375–379. <https://doi.org/10.1097/01.bpb.0000271330.64234.db>
- [85] Bulthuis, G.J., Veldhuizen, A.G. & Nijenbanning, G. Clinical effect of continuous corrective force delivery in the non-operative treatment of idiopathic scoliosis: a prospective cohort study of the triac-brace. *Eur Spine J* 17, 231–239 (2008). <https://doi.org/10.1007/s00586-007-0513-9>
- [86] V. Wang, S., & Zing, S. (2017). Bracing Effects of the Flexpine in Scoliosis Patients. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 34(1), 261–268. Retrieved from https://asrjtsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/3221
- [87] N. Simanovsky, "DEROTATIONAL BRACE FORTREATMENT OF DOPATHC SCOLLOSS", WO2005/023157, 2010.
- [88] J. Perez, G. Garth and S. Burke, "SCOLIOSIS BRACE", US10265210B2, 2019.
- [89] K. N. Coller, G. P. Chimes, B. Burton, A. Mayfield, P. Manor and D. Krishnamoorthy, "LOW - PROFILE, POSTURAL CORRECTIVE GARMENT FOR THERAPEUTIC RELIEF OF LOW BACK PAIN AND MECHANICAL LUMBAR DISORDERS", US10406014B2, 2019.
- [90] 노경석 ROE, Kyung Suk, "ASYMMETRICAL SPINE SUPPORT DEVICE FOR SCOLIOSIS PATIENT", WO2018186553, 2018.
- [91] L. Helmut, "Physiotherapeutisches Behandlungs-und Übungsgerät für die Skoliosebehandlung", 102 53 630.9, 2002.

[92] N. N. Nenov and O. Nedelchev, "METHOD AND APPARATUS FOR TREATMENT OF DOPATHC SCOLIOSIS", 5490851, 1994.

ANEXOS:

A continuación se presenta un link con las entrevistas exploratorias hechas hacia un traumatólogo, paciente, neurocirujano y cirujano de columna mencionados anteriormente.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1J0iIM_2N8FG5MbqikHYo6CWjJf7okRuE/edit#gid=568830562

Código principal

```
#include "HX711.h"
#include "math.h"
#include "BluetoothSerial.h"
#include <analogWrite.h>

//*****
//Variable para la interrupcion TMR0
volatile int interruptCounter;
volatile bool flag_monitor3;
int totalInterruptCounter;
hw_timer_t * timer0 = NULL;
portMUX_TYPE timer0Mux = portMUX_INITIALIZER_UNLOCKED;
//*****



HX711 hx711_galga_1;

BluetoothSerial SerialBT;

int dato_entrante;
float dato_salida;
char datos_serial;
float fuerza_ideal=9.81;
float FuerzaMin= 5; ///(95/100)*fuerza_ideal;
float FuerzaMax= 7; ///(105/100)*fuerza_ideal;
int velocidad = 90; //fija la velocidad del motor, max 255
float FuerzaSensada;
int HP = 1;

//definir variables
//const int pulsador1 = 36;
const int led = 2; //led de prueba
const int led2 = 15; //led de prueba
const int M_rele = 4; //salida rele on/off
const int Touch = 17; //entrada pulsador
const int HUMPAD1_DOUT_PIN = 22;
const int HUMPAD1_SCK_PIN = 14;
const int pinPMWD1= 26; //1; //Control PWM para el control de la velocidad de giro
const int pinD1IN2= 27; //3; //Pin digital para inicio del giro para controlar adelante/atrás o horario/antihorario
const int pinD1IN1= 18;
const int SDTBY_D1= 12;//Definición de pines para controlar el modo ahorro de energía


const int waitTime = 1000; //Tiempo de muestreo
const int maximo_velocidad= 1500; //Velocidad de giro para el motor

const int pinesDIAL1[3] = {pinPMWD1,pinD1IN2,pinD1IN1};

enum moveDirection {
```

```
    adelante,  
    atras  
};
```

```
boolean f0 = false;  
boolean f1 = false;  
boolean f2 = false;  
boolean f3 = false;  
boolean f4 = false;  
boolean f5 = false;  
boolean f6 = false;  
boolean f7 = false;  
boolean flag_monitor0 = false;  
boolean flag_monitor1 = false;  
boolean flag_monitor2 = false;  
boolean flag_monitor4 = false;  
boolean flag_monitor5 = false;  
boolean flag_monitor6 = false;  
boolean flag_monitor7 = false;  
byte pulsadores =0;  
byte buffer_pulsador;  
int conta_pulsador =0;  
byte reg_pulsador = 0; //hasta 8 pulsadores  
//boolean flag_monitor3 = false;  
boolean flag_reloj0 = false;  
boolean flag_reloj1 = false;  
boolean flag_reloj2 = false;  
boolean flag_reloj3 = false;  
boolean flag_reloj4 = false;  
boolean flag_reloj5 = false;  
boolean flag_reloj6 = false;  
int temp=0;  
int tiempo0 = 0;  
int tiempo00 = 0;  
int tiempo1 = 0;  
int tiempo11 = 0;  
int tiempo2 = 0;  
int tiempo22 = 0;  
int tiempo3 = 0;  
int temp=400;  
byte funcion = 0;
```

```
*****  
***** Definir llamadas a subrutinas *****  
void relojes();  
void temporizador0();  
void temporizador1();  
void temporizador2();  
void temporizador3();  
void fija_velocidad_motor();  
void antirrebotes();  
void elegir_funcion();  
void lectura_pulsadores();  
void salida_efecto_motor();  
void lectura_modulo_galga();  
void control_motor();  
void Control_onoff();  
void activar_dial_1();
```

```

void desactivar_dial_1();
void ajusteAutomatico(const int DIAL[3], int direccion, int velocidad);
void mover_motor_adelante (const int DIAL[3], int velocidad);
void mover_motor_atras (const int DIAL[3], int velocidad);
void parar_giro_del_dial (const int DIAL[3]);
void manejo_bluetooth();
//*********************************************************************
//***** Llamada a interrupcion TIMER0 *****
//enlaces https://descubreaduino.com/esp32-arduino-interrupciones-timer/
//https://www.prometec.net/esp32/
//https://www.electrogeekshop.com/como-controlar-un-motor-paso-a-paso-con-el-a4988-y-arduino/
void IRAM_ATTR onTimer0()
{
    portENTER_CRITICAL_ISR(&timer0Mux);
    interruptCounter++;
    flag_monitor3 = HIGH;
    portEXIT_CRITICAL_ISR(&timer0Mux);
    relojes();
    f3 = LOW;
}
//*********************************************************************
//***** Zona de configuracion *****
void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    //Habilitando interrupcion TIMER0
    timer0 = timerBegin(0, 80, true);
    timerAttachInterrupt(timer0, &onTimer0, true);
    timerAlarmWrite(timer0, 1000, true);
    timerAlarmEnable(timer0);
    // Configura as portas como saídas
    pinMode(M_rele, OUTPUT);
    pinMode(led, OUTPUT);
    pinMode(led2, OUTPUT);
    // Configura as portas como entrada
    pinMode(Touch, INPUT);

    pinMode(pinPMWD1, OUTPUT);
    pinMode(pinD1IN2, OUTPUT);
    pinMode(pinD1IN1, OUTPUT);
    pinMode(SDTBY_D1, OUTPUT);
    digitalWrite(led, LOW);
    digitalWrite(M_rele, LOW);
    reg_pulsador = 0;
    hx711_galga_1.begin(HUMPAD1_DOUT_PIN,HUMPAD1_SCK_PIN);
    Serial.println("1233");
    SerialBT.begin("ORTESIS");
    delay(100);
    f4 = HIGH; //para el rele arranque apagado
    //velocidad = 200; //fija la velocidad del motor
}
//*********************************************************************
//***** Programa principal *****
void loop()
{
    if(f3 == LOW)
    {
        f3 = HIGH;
        Control_onoff();
    }
}

```

```

lectura_modulo_galga();
control_motor();
//manejo_bluetooth();
}

} //Fin de la rutina principal

/***** Habilita motor *****/
void activar_dial_1(){
  digitalWrite(SDTBY_D1,HIGH);
}
/***** Desactiva Motor *****/
void desactivar_dial_1(){
  digitalWrite(SDTBY_D1,LOW);
}
/***** Avance o retrocede *****/
void ajusteAutomatico(const int DIAL[3], int direccion, int velocidad){

  if(direccion==adelante){
    mover_motor_adelante(DIAL,velocidad);
  }
  else{
    mover_motor_atras(DIAL,velocidad);
  }
}
/***** Avance *****/
void mover_motor_adelante (const int DIAL[3], int velocidad){
  digitalWrite(DIAL[1],HIGH);
  digitalWrite(DIAL[2],LOW);
  analogWrite(DIAL[0],velocidad);
}
/***** Atras *****/
void mover_motor_atras (const int DIAL[3], int velocidad){
  digitalWrite(DIAL[1],LOW);
  digitalWrite(DIAL[2],HIGH);
  analogWrite(DIAL[0],velocidad);
}
/***** Stop *****/
void parar_giro_del_dial (const int DIAL[3]){
  digitalWrite(DIAL[1],LOW);
  digitalWrite(DIAL[2],LOW);
  analogWrite(DIAL[0],0);
}
/***** Lectura Galga *****/
void lectura_modulo_galga()
{
  if(f2 == HIGH) //Esta habilitado rele principal
  {
    if(hx711_galga_1.is_ready())
    {

```

```

//digitalWrite(led2,HIGH );
long reading_galga_1 = -1*(hx711_galga_1.read()/6423.84)-207;
Serial.print("Lectura en gramos: ");
Serial.print(reading_galga_1);
Serial.print(" Lectura en newtons: ");
Serial.print(reading_galga_1*pow(10,-3)*(9.807));
Serial.print("\n");
dato_salida = (reading_galga_1*pow(10,-3)*(9.807));
FuerzaSensada = (reading_galga_1*pow(10,-3)*(9.807));
char HUMP=HP;
String datos_de_salida;
datos_de_salida= String ("1,");
datos_de_salida += FuerzaSensada;
datos_de_salida += ",";
datos_de_salida += HP;

Serial.println(datos_de_salida);
Serial.println("Enviando un dato 1...");
SerialBT.print(datos_de_salida);
}

//digitalWrite(led2,LOW );
}
}
***** Control Motor *****/
void control_motor()
{
if(f2 == HIGH) //Esta habilitado rele principal
{
if ((FuerzaSensada <= FuerzaMin) || (FuerzaSensada >= FuerzaMax))
{
if(FuerzaSensada <= FuerzaMin)
{
//digitalWrite(led2,!digitalRead(led2));
digitalWrite(led2,HIGH );
digitalWrite(SDTBY_D1,HIGH); //activar_dial_1();pinesDIAL1[3] = {pinPMWD1,pinD1IN2,pinD1IN1};
digitalWrite(pinD1IN2,HIGH); //ajusteAutomatico( pinesDIAL1, adelante, 200 );
digitalWrite(pinD1IN1,LOW);
analogWrite(pinPMWD1,velocidad);
}
if (FuerzaSensada >= FuerzaMax)
{
//digitalWrite(led2,!digitalRead(led2));
digitalWrite(SDTBY_D1,HIGH); //activar_dial_1();
digitalWrite(pinD1IN2,LOW); //ajusteAutomatico( pinesDIAL1, atras, 200 );
digitalWrite(pinD1IN1,HIGH);
analogWrite(pinPMWD1,velocidad);
}
}
else
{
digitalWrite(pinD1IN2,LOW); //Parar giro del motor
digitalWrite(pinD1IN1,LOW);
analogWrite(pinPMWD1,0);
digitalWrite(SDTBY_D1,LOW); //desactiva modulo
}
}
}
***** */

```

```

/*********************  

***** Bluetooth *****  

void manejo_bluetooth()  
{  
  

    if(SerialBT.available()){  

        Serial.println("Se conecto el dispositivo BITCH");  

        dato_entrante=SerialBT.read();  
  

        int estado=dato_entrante;  
  

        switch (estado){  
  

            case 1:  

                Serial.println("Comando para ENCENDER un led activado");  
  

                digitalWrite(led, HIGH);  

                break;  

            case 2:  

                Serial.println("Comando para APAGAR un led activado");  
  

                digitalWrite(led, LOW);  

                break;  

        }  

    }  

}/*  

***** Control on/off *****  

void Control_onoff()  
{  

    if(bitRead(reg_pulsador,7) == HIGH) //entrada Touch  

    {  

        if(f0 == LOW)  

        {  

            f0 = HIGH;  

            f1 = LOW;  

        }  

    }  

    else  

    {  

        if(f1 == LOW)  

        {  

            f1 = HIGH;  

            f0 = LOW;  

            if(f4 == LOW) { digitalWrite(M_rele, !digitalRead(M_rele)); } else f4=LOW;  

            digitalWrite(led, digitalRead(M_rele));  

            if(digitalRead(M_rele) == HIGH)  

            {  

                f2 = HIGH;  

            }  

            else  

            {  

                f2 = LOW; //f2 = HIGH, rele habilitado  

                parar_giro_del_dial (pinesDIAL1);  

            }  

        }  

    }  

}  

}/*  

//*****
```

```

//***** lee el estado de los pulsadores *****
void lectura_pulsadores()
{
  if(digitalRead(Touch)==HIGH) { bitSet(pulsadores,7); } else { bitClear(pulsadores,7); }
}
//***** Eliminar rebotes en pulsadores *****
void antirrebotes()
{
  buffer_pulsador=pulsadores;
  if(buffer_pulsador != reg_pulsador)
  {
    if(conta_pulsador==300) //300ms de antirrebote
    {
      conta_pulsador=0;
      reg_pulsador=buffer_pulsador;
    }
    else { conta_pulsador++; }
  } else conta_pulsador=0;
}
//***** Subrutina relojes *****
void relojes()
{
  lectura_pulsadores();
  antirrebotes();
  portENTER_CRITICAL(&timer0Mux);
  flag_monitor3 = LOW;
  portEXIT_CRITICAL(&timer0Mux);
  if(flag_reloj0 == HIGH) { temporizador0(); }
  if(flag_reloj1 == HIGH) { temporizador1(); }
  if(flag_reloj2 == HIGH) { temporizador2(); }
  if(flag_reloj3 == HIGH) { temporizador3(); }
  //digitalWrite(led,!digitalRead(led));
}
//*****
//***** fija la velocidad del motor pap ****/
void temporizador0()
{
  tempr=tiempo0+1;
  if(tempr == 100) {
    tiempo0=0;
    flag_reloj0=LOW;
  }else{tiempo0++;}
}
//*****
void temporizador1()
{
  tempr=tiempo1+1;
  if(tempr == 100){
    tiempo1=0;
    tempr=tiempo11 + 1;
    if(tempr == 20){
      tiempo11=0;
      flag_reloj1=LOW;
    }else{tiempo11++;}
  }else{tiempo1++;}
}
//*****
void temporizador2()
{

```

```
tempr=tiempo2+1;
if(tempr == 100){
    tiempo2=0;
    tempr=tiempo22 + 1;
    if(tempr == 20){
        tiempo22=0;
        flag_reloj2=LOW;
    }else{tiempo22++;}
}else{tiempo2++;}
}
/*****************/
void temporizador3()
{
    tempr=tiempo3+1;
    if(tempr == 2000) {
        tiempo3=0;
        flag_reloj3=LOW; }
    else tiempo3++;
}
```