



**DISEÑO DE UN MECANISMO PARA EL FORTALECIMIENTO DE MÚSCULOS
ABDOMINALES Y LUMBARES EN EL TRATAMIENTO FISIOTERAPÉUTICO DE
ESPONDILOLISTESIS Y LUMBALGIAS INESPECÍFICAS.**

PEDRO ANTONIO BENAVIDES CRISTANCHO. Código: 6846

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMEDICINA, CODIGO / 6846.
BOGOTÁ, D.C.
2024.**

**DISEÑO DE UN MECANISMO PARA EL FORTALECIMIENTO DE MÚSCULOS
ABDOMINALES Y LUMBARES EN EL TRATAMIENTO FISIOTERAPÉUTICO DE
ESPONDILOLISTESIS Y LUMBALGIAS INESPECÍFICAS.**

PEDRO ANTONIO BENAVIDES CRISTANCHO.

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:

Tecnología en Electromedicina

Director (a): MSc. Ingrid Mercedes Cruz Bernal

UNIVERSIDAD ECCI

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIRECCIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMEDICINA, CODIGO / 6846.

BOGOTÁ, D.C.

2024.

Agradecimientos

Al eterno, que permite dilucidar posibilidades frente a cualquier dificultad; a mis padres, cuyo amoroso apoyo y comprensión permitieron la culminación del presente proyecto de investigación; a mis docentes, sin cuyo acompañamiento, asesoría y experiencia hubiese sido difícil concretarlo.

Contenido

	Pág.
Título	I
Resumen.....	XIII
Abstract.....	XV
Introducción	18
1. Planteamiento del Problema	20
1.1 Descripción del problema.....	20
1.2 Formulación del problema	22
2 Justificación.....	23
3 objetivos	24
3.1 Objetivo general	24
3.2 Objetivos específicos.....	24
4 Estado del arte.....	25
4.1 Eficacia del tratamiento fisioterapéutico en la espondilolistesis.....	25
4.2 El efecto de la tracción mecánica sobre el dolor lumbar	26
4.3 Eficacia de los ejercicios de estabilización lumbopélvica.	27
4.4 Ejercicios de estabilización frente a ejercicios de flexión.	28
4.5 Espondilolistesis lumbar: comparación retrospectiva y seguimiento	29

5 Marco teórico.....	31
5.1 Columna vertebral.....	31
5.2. Región lumbar de la columna.	32
5.2.1 Vértebras lumbares.....	33
5.2.2 Cuerpo vertebral.....	34
5.2.3 Constitución de una vértebra lumbar.	35
5.2.4 Superficies articulares.	36
5.3 Disco intervertebral.....	36
5.3.1 Estructura del disco intervertebral.	37
5.4 Medios de unión.....	38
5.5 Músculos de la columna lumbar.	39
5.5.1 Músculos de la pared abdominal.....	39
5.5.2 Músculos posteriores. (plano profundo)	40
5.5.3 Musculo cuadro lumbar.....	41
5.6 Movilización de la región lumbar.	41
5.6.1 Flexión.....	42
5.6.2 Extensión.....	43
5.6.3 Flexión lateral.....	44
5.6.4. Rotación.	44
5.7 Etiología del dolor lumbar.	45

5.7.1 Lumbalgias.....	45
5.7.2 Espondilolistesis.....	46
5.7.3 Tipos de espondilolistesis.	47
5.7.4 Sintomatología en espondilolistesis.	48
5.7.5 Clasificación de la espondilolistesis.....	48
5.8 Tratamiento.	49
5.8.1 Tratamiento quirúrgico.....	50
5.8.2 Tratamiento conservador.....	53
5.8.3 Rehabilitación física.....	55
5.8.4 Ejercicios indicados en espondilolistesis y lumbalgias.....	55
5.9 Tecnologías asistenciales.	58
5.9.1 Tecnologías asistenciales de tratamiento lumbar.....	58
5.9.2 Diseño.	61
5.9.3 Equipo de ejercitación.....	62
6 metodología.....	63
6.1 Enfoque del proyecto.	63
6.1.1 Método de investigación.	63
6.1.2 Plataformas y keywords empleadas.	64
6.1.3. Modelo de búsqueda:	65
6.2 Proceso de búsqueda conforme a cada una de las bases de datos:	66

6.2.1 tabla de artículos encontrados por plataformas para las dos consultas.	68
6.3. Selección de estudios en tratamientos físicos y rehabilitación en espondilolistesis.	68
6.3.1 Criterios de inclusión:	69
6.3.2 Listado de palabras reservadas.	70
6.3.3 Artículos seleccionados para su análisis en tratamientos físicos y rehabilitación. .	70
6.3.4 Diagrama de filtrado y separación de los artículos en tratamientos físicos.	71
6.4 Análisis de la información, tema 1 “requerimientos anatómicos y funcionales”.	72
6.4.1 Extracción de la información “caracterización de ejercicios y reconocimiento de posiciones anatómicas”.....	77
6.4.2 Posiciones anatómicas.....	80
6.5 Selección de estudios tecnologías asistenciales.	81
6.5.1 criterios de inclusión.	82
6.5.2 artículos seleccionados para su análisis.	83
6.5.3 diagrama de filtrado y separación de los artículos.	84
6.6 análisis de la información “tecnologías asistenciales en rehabilitación y fortalecimiento muscular lumbar y abdominal”	85
6.6.1 Extracción de la información para el tema 2, “equipos de rehabilitación y fortalecimiento muscular lumbar y abdominal”.	89
7 Resultados.....	92
7.1 Integración de la información.	92

7.2 Propuesta diseño conceptual.	93
7.2.1 plataforma principal.	93
7.2.2 Bloque de caucho número 1.	94
7.2.3 Soportes principales.	95
7.2.4 Bloque de caucho número 2.	96
7.2.5 Soportes axilares.	99
7.2.6 Asideros.	100
7.3 Diseño conceptual final.	101
7.4 Indicaciones de uso.	102
8 Conclusiones.	103
8.1 Contenido de la revisión.	103
8.2 Logro del objetivo general.	104
8.3 Objetivos específicos.	104
8.3.1 identificación de las posiciones anatómicas.	104
8.3.2 ejercicios terapéuticos.	104
8.3.3 identificación de tecnologías asistenciales.	105
8.3.4 desarrollo del diseño en SolidWorks 2021.	105
8.4 Implementación.	105
Referencias.	106

Lista de figuras.

Figura 1. Regiones y curvaturas fisiológicas de la columna vertebral.....	32
Figura 2. Cuerpos vertebrales y ramificaciones nerviosas.....	33
Figura 3. Vértebra lumbar.....	34
Figura 4. Cuerpo vertebral lumbar.....	34
Figura 5. Vista vértebra lumbar y sus partes.....	35
Figura 6. Superficies articulares.....	36
Figura 7. Disco intervertebral.....	38
Figura 8. Ligamentos de la columna lumbar.....	38
Figura 9. Ligamentos lumbosacos.....	39
Figura 10. Músculos abdominales.....	39
Figura 11. Aponeurosis del dorsal ancho.....	40
Figura 12. Músculos cuadro lumbar.....	41
Figura 13. Movimientos de la columna vertebral.....	42
Figura 14. Flexión de la columna lumbar.....	43
Figura 15. Extensión de la columna lumbar.....	43
Figura 16. Flexión lateral vertebral lumbar.....	44
Figura 17. Rotación izquierda vértebra lumbar.....	45
Figura 18. Fractura lamina vertebral.....	46
Figura 19. Desplazamiento vertebral en espondilolistesis.....	47
Figura 20. Grados de desplazamiento vertebral.....	48
Figura 21. Desplazamiento vertebral en espondilolistesis.....	49
Figura 22. Procedimiento quirúrgico descompresión de estenosis lumbar.....	50

Figura 23. Procedimiento quirúrgico, artrodesis lumbar.....	51
Figura 24. Sistemas de fijación vertebral CQ.	52
Figura 25. Reducción listesis lumbar.	52
Figura 26. corsé sacrolumbar.	59
Figura 27. Método pilates.	59
Figura 28. Electroestimulación músculos lumbar.....	60
Figura 29. Unidad de tracción cervical y lumbar	60
Figura 30. Esquema proceso de diseño.	61
Figura 31. Evolución del diseño.....	62
Figura 32. Plataforma principal.....	94
Figura 33. Módulo de caucho N°1, como medio de unión	95
Figura 34. Soportes generales de la plataforma..	96
Figura 35. Unificación de bloques de caucho.	96
Figura 36. Módulo de caucho N° 2.	97
Figura 37. Relación plexo lumbosacro y cortes del bloque N°2.....	98
Figura 38. Soportes axilares.	100
Figura 39. Asideros.	100
Figura 40. Vista superior e inferior equipo de ejercitación lumbar y abdominal (E.E.L.A.).	101
Figura 41. Vistas laterales equipo de ejercitación lumbar y abdominal. (E.E.L.A.).....	101
Figura 42. Vista frontal equipo de ejercitación lumbar y abdominal. (E.E.L.A.).	101

Lista de tablas.

Tabla 1. Clasificación de los músculos abdominales.....	40
Tabla 2. Músculos posteriores de la region lumbar.	40
Tabla 3. Músculos cuadro lumbar.....	41
Tabla 4. Movilidad media por cada region de la columna vertebral.....	45
Tabla 5. Índice de subluxación lumbar de meyerding.	49
Tabla 6. Implantes vertebrales utilizados en procesos quirúrgicos.....	52
Tabla 7. Indicaciones pacientes asintomáticos con baja listesis.	53
Tabla 8. Indicaciones a pacientes con presencia de dolor.....	54
Tabla 9. Ejercicios de estabilización lumbar.....	56
Tabla 10. Ejercicios paravertebrales.	57
Tabla 11. Esquema metodológico desarrollado para el proyecto.....	64
Tabla 12. Formula de búsqueda en bases de datos.....	65
Tabla 13. Estrategia de búsqueda.....	68
Tabla 14. Palabras reservadas durante la búsqueda en los artículos consultados.	70
Tabla 15. Artículos seleccionados para la extracción de la información en temáticas de rehabilitación física.....	70
Tabla 16. Diagrama de filtrado y selección de artículos para ejercicios y posiciones anatómicas.	71
Tabla 17. Frecuencia de las rutinas de ejercicio presentes en los estudios consultados.	77
Tabla 18. Posiciones anatómicas y ejercicios predominantes en estudios previos.....	81
Tabla 19. Estudios seleccionados para la extracción de la información en uso de tecnologías de rehabilitación.....	83

Tabla 20. Diagrama de filtrado y selección de artículos para tecnologías asistenciales.....	84
Tabla 21. Tecnologías utilizadas en el tratamiento de fortalecimiento muscular lumbar.....	91

Resumen.

Diversos estudios consideran la fisioterapia como una opción eficiente en el manejo del dolor y recuperación funcional en afecciones lumbares como lumbalgias e incluso espondilolistesis, a pesar de que esta última implica un cambio perjudicial a nivel estructural y funcional de la columna vertebral, ambas condiciones comparten metodologías terapéuticas de entrenamiento muscular similares; Teniendo en cuenta esta particularidad y el cuidado que requiere cada condición, la presente investigación ofrece un diseño conceptual de equipo de ejercitación que se adhiere a las indicaciones de trabajo establecidas por el área de rehabilitación física a los pacientes que padecen las afecciones antes mencionadas y cuya condición les posibilite ejercitarse; a la vez que se explora una alternativa complementaria al tratamiento de trastornos musculoesqueléticos (lumbalgias) que la O.M.S en su informe técnico 816 “enfermedades reumáticas” clasifica como “*de proporciones epidémicas.*”

Materiales y método.

Se realiza una consulta de contenido en 3 diferentes bases de datos: “ScienceDirect”, “PEDro” y “Pubmed”. indagando por los ejercicios predominantes que demostraron resultados favorables en el tratamiento para las dos condiciones (espondilolistesis y lumbalgias), estos ejercicios son de carácter isométrico (contracciones musculares que permiten conservar la fuerza del musculo) conocidos como “inclinación pélvica” y “abdominal parcial” basan su dinámica de movimiento en la flexión sostenida de la región lumbar y abdominal; de igual manera se identificaron las posiciones anatómicas en las que se desarrollan estas rutinas buscando evaluarlas para su adaptación al diseño desarrollado en SolidWorks 2021; de igual manera, se realizó una segunda consulta cuyo objetivo es identificar tecnologías existentes enfocadas al tratamiento de lumbalgias y espondilolistesis, buscando alcanzar un nivel de innovación en el diseño.

Resultados.

Luego de determinar los ejercicios con mayor índice de inclusión dentro de las investigaciones consultadas, así como las diferentes posiciones anatómicas que el paciente adopta durante la ejecución de dichos ejercicios, se analizaron los resultados y se bocetó un modelo que posteriormente se modeló en SolidWorks 2021, y es expuesto en el apartado “resultados” para su evaluación; conforme al diseño final y la función prevista se proponen algunas condiciones de uso.

Palabras clave:

“espondilolistesis lumbar”, “lumbalgia”, “tratamiento conservador”, “tecnología asistencial”, “ejercicios terapéuticos”, “fisioterapia”, “innovación tecnológica”.

Abstract.

Various studies consider physiotherapy as an efficient option in pain management and functional recovery in lumbar conditions such as low back pain and even spondylolisthesis, although the latter implies a harmful change at the structural and functional level of the spine, both conditions share methodologies. Similar muscle training therapies; Taking into account this particularity and the care required by each condition, the present research seeks to offer a conceptual design of exercise equipment that adheres to the work instructions indicated by the physical rehabilitation area to patients who suffer from the aforementioned conditions and whose condition allows them to exercise; at the same time, a complementary alternative to the treatment of musculoskeletal disorders (low back pain) is explored, which the W.H.O. in its technical report 816 “rheumatic diseases” classifies as “of epidemic proportions”.

Materials and method.

A content query is carried out in 3 different databases: “ScienceDirect”, “PEDro” and “Pubmed”. Investigating the predominant exercises that demonstrated favorable results in the treatment for the two conditions (spondylolisthesis and low back pain), these exercises are of an isometric nature (muscle contractions that allow strength to be preserved) known as “pelvic tilt” and “partial abdominal” based on their dynamics of movement in sustained flexion of the lumbar and abdominal region; Likewise, the anatomical positions with which these routines are developed were identified, seeking to evaluate them for their adaptation to the design developed in SolidWorks 2021; Likewise, a second consultation was carried out whose objective is to identify existing technologies focused on the treatment of low back pain and spondylolisthesis, seeking to achieve a level of innovation in design.

Results.

After identifying the exercises with the highest inclusion rate within the research consulted, as well as the different anatomical positions that the patient adopts during the execution of said exercises, the results were analyzed and a model was sketched that was later modeled in SolidWorks 2021, and is presented in the “results” section for evaluation; According to the final design and the intended function, some conditions of use are proposed. According to the above, appreciations and observations of the design by professionals in the area of physical rehabilitation are included.

Keywords.

“lumbar spondylolisthesis”, “low back pain”, “conservative treatment”, “assistive technology”, “therapeutic exercises”, “physiotherapy”, “technological innovation”.

Introducción

Las afecciones de la columna vertebral obedecen a diversas causas como: deformidades de la espina dorsal, escoliosis, espondilólisis, espondilolistesis cervical y lumbar, estenosis del conducto vertebral y hernias discales, entre otras que pueden alterar su estructura y correcto desempeño.

La columna se encuentra dividida en 5 segmentos: cervical, dorsal, lumbar, sacra y coccígea; siendo las áreas cervical y lumbar las más susceptibles a sufrir traumatismos y presencia de dolor. El segmento lumbar se caracteriza por su capacidad de movimiento y su gran capacidad de soportar cargas, razón por la cual estos procesos dolorosos son hasta en un 70% más comunes en el área lumbar (Bartomeu, 2012), región de especial interés en esta investigación.

En consecuencia, las lumbalgias comunes o inespecíficas son ocasionadas por varios factores que aún son materia de investigación, puesto que en ellas no se evidencia lesión, fracturas o compresión radicular. (Maria Isabel Casado Morales, 2008). A su vez, encontramos patologías más complejas como la espondilolistesis, lesión que evidencia el deslizamiento de una vértebra sobre la inferior; en sus primeros grados de desplazamiento (son 4 grados, donde 1 es nivel más bajo y 4 el máximo grado de desplazamiento) y bajo ausencia del dolor, se prescribe fortalecimiento de los músculos asociados a la región lumbar y el cuadro abdominal; misma recomendación se indica en casos de lumbalgias. Estos programas de ejercicio se desarrollan en centros fisioterapéuticos donde el paciente aprende las rutinas apropiadas para su tratamiento y continua con ellas de manera autónoma.

Por ello, los pacientes buscan alternativas económicas y de fácil acceso que les permita desarrollar actividades de fortalecimiento muscular donde las más recomendadas por los fisioterapeutas son ejercicios de pilates con “fitball” donde usando un balón como apoyo, se realiza

una serie de estiramientos y ejercicios de resistencia que permiten descomprimir la columna y encontrar alivio al dolor, (J Michael Wieting, 2020) naturalmente el equilibrio en el uso de este balón debe ser tenido muy en cuenta. De manera similar se recomienda el uso de áreas como piscinas donde la fuerza de empuje o flotación que actúa sobre el paciente inmerso, permite descomprimir la columna y realizar movimientos de ejercitación que resultan ser más efectivos reduciendo la compresión intervertebral y posibilita un aumento en el umbral de dolor para el paciente. (Becker, 2009). Cabe resaltar que el acceso a estas áreas no está cubierto por el P.O.S. (minsalud, 2014) pues las diferentes E.P.S. que cuentan con este recurso, ofertan el servicio como recreativo por encima del terapéutico. Razón por la cual el acceso a una terapia asistida en medio acuático representa un incremento en el costo al tratamiento autónomo de los pacientes que padecen espondilolistesis o lumbalgias. Por esta razón, se precisan alternativas que puedan ofrecer condiciones físicas similares a la inmersión en piscina o de suspensión en el caso del balón de pilates; mecanismos de trabajo que permitan incorporar estas características de los ejercicios recomendados por al área de rehabilitación.

En consecuencia, el presente proyecto de investigación pretende diseñar un equipo básico que permita integrar condiciones mecánicas presentes en algunos ejercicios propuestos por el área clínica. Dando relevancia a aquellos que involucren flexión en la región lumbar, teniendo en cuenta que los ejercicios de flexión ofrecen una respuesta similar a los ejercicios de estabilización para el control del dolor y mejoras de la discapacidad en personas con dolor lumbar crónico y espondilolistesis con bajo grado de listesis. (ístmica). (Tania Inés Nava-Bringas, 2021).

1. Planteamiento del Problema

1.1 Descripción del problema.

Los avances científicos modernos permiten el tratamiento del dolor lumbar, pero su manejo a lo largo del tiempo continúa siendo muy tradicional, por lo cual los avances terapéuticos son mínimos (Amaya, 2001). Para 2014 en Colombia el 68% de los dolores crónicos estaban asociados a molestias osteomusculares de los cuales el 23.6% obedecían a dolores de espalda, sobre una base de 482 personas encuestadas a nivel nacional. (Asociación Colombiana para el estudio del dolor, 2014).

En consecuencia, dentro de los tratamientos conservadores que se prescriben en la atención primaria de espondilolistesis (en sus primeros grados de displasia) o en lumbalgias comunes encontramos: el control del peso, la toma de medicamentos analgésicos y antiinflamatorios, el reposo de actividades de esfuerzo, higiene postural y el uso de ortesis, estas suelen ser fajas correctoras de postura y corsés ortopédicos que ofrecen sujeción y contención en la zona lumbosacra que tienen como finalidad mantener posiciones ergonómicas adecuadas.

De la misma manera se recomienda un régimen de ejercicios orientado a fortalecer los músculos abdominales y de la espalda; al igual que estiramientos sistemáticos de los músculos isquiotibiales localizados en la parte posterior del muslo. (Rodríguez, 2018).

Aun cuando los ejercicios suelen ser los mismos para lumbalgias comunes así como para espondilolistesis; esta última involucra el desplazamiento anterior de una vértebra, razón por la cual convendría una dinámica de movimiento que procure oposición al desplazamiento anterior de la vértebra; los ejercicios indicados para estas patologías se conocen como anaeróbicos y destacan por que se realizan de forma breve empleando primordialmente un nivel de esfuerzo sostenido y

tienen como objetivo reforzar la musculatura, incrementar el control, fuerza y flexibilidad del área abdominal y lumbar. De igual manera los ejercicios de pilates, reúnen estas condiciones de trabajo y son adecuados para la tonificación y rehabilitación de la zona lumbar, cabe destacar que las rutinas de pilates resultan ser tan eficientes como cualquier otro tipo de tratamiento activo. (Vanderthommen, 2017) . Igualmente es notable la ausencia de equipos de trabajo anaeróbico durante la etapa de fortalecimiento muscular incluso en centros de fisioterapia, *“esto en realidad por que no existe una tecnología específica para el tratamiento o rehabilitación de esta condición”*. (James Rainville, 2019). De acuerdo a lo anterior, y dada la carencia de tecnologías de apoyo para en el tratamiento de estas patologías durante su tratamiento, surge la necesidad de un equipo que lograre integrar: estabilidad, descompresión vertebral y dinámicas de movimiento con esfuerzo sostenido controlado para el fortalecimiento muscular de la región lumbar y abdominal de pacientes diagnosticados con lumbalgias y espondilolistesis con bajo grado de listesis (desplazamiento).

1.2 Formulación del problema

Se conoce que los pacientes que padecen lumbalgias comunes e incluso espondilolistesis requieren de herramientas en el desarrollo de sus actividades de fortalecimiento muscular. Del mismo modo, la indicación clínica sugiere realizar estas rutinas en un entorno ideal como el medio acuático donde cobra especial relevancia la disminución de la carga axial que soporta la columna vertebral, por lo tanto:

¿Qué tipo de ejercicios y que posiciones anatómicas se deben tener en cuenta para diseñar un equipo de ejercitación lumbar y abdominal, enfocado a la rehabilitación física en pacientes con dolor lumbar crónico (lumbalgia) y espondilolistesis?

2 Justificación

El aprendizaje de las rutinas de ejercitación por parte de los pacientes con afecciones como lumbalgias y espondilolistesis no es garantía del cumplimiento de las mismas, están conformadas por ejercicios anaeróbicos e isométricos que solo requieren para su práctica la disponibilidad del paciente y su capacidad de movimiento, sin embargo los recursos mecánicos o equipos de entrenamiento físico que incentivarían y facilitarían esta actividad son limitados y el acceso a estos representa un costo económico adicional para cualquier paciente; el sedentarismo y las actividades profesionales que demandan posturas en sedestación por periodos prolongados de tiempo son en parte el motivo y complicación de estas molestias.

Con el desarrollo de la presente investigación se busca en el corto plazo ofrecer un diseño conceptual de un equipo práctico, tomando como base los ejercicios conocidos como “*anaeróbicos*” e “*isométricos*”. En el largo plazo permitirá la profundización del tema a otros investigadores permitiendo su optimización e implementación, buscando acercar a los pacientes al trabajo autónomo y accesible en diversos entornos.

3 objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un mecanismo para el tratamiento fisioterapéutico muscular en la región lumbar y abdominal, adaptando requerimientos propios del tratamiento fisioterapéutico de lumbalgias y espondilolistesis, haciendo uso del programa CAD SolidWorks versión 2021.

3.2 Objetivos específicos

1. Identificar las posiciones anatómicas presentes en las terapias de fortalecimiento muscular para lumbalgias y espondilolistesis.
2. Determinar los ejercicios terapéuticos de mayor prevalencia en el tratamiento rehabilitador de las patologías, para adecuarlo en el diseño.
3. Identificar equipos de asistencia disponibles en el tratamiento rehabilitador de la lumbalgias y espondilolistesis.
4. Diseñar un prototipo de equipo terapéutico orientado al fortalecimiento muscular del área abdominal y lumbar, adaptando los de ejercicios seleccionadas.

4 Estado del arte

El presente capítulo se sustenta en la revisión de estudios previos al tratamiento rehabilitador de lumbalgias y de la espondilolistesis. Se realiza consulta con especial énfasis en diferentes recursos como terapias, equipos y dispositivos que son utilizados en actividades de fortalecimiento muscular. describe avances y técnicas fisioterapéuticas utilizadas en su manejo.

4.1 Eficacia del tratamiento fisioterapéutico en la espondilolistesis: una revisión sistemática.

El autor realiza una investigación sistemática en plataformas cuyas bases de datos dedican su compendio a la investigación en el cuidado y preservación de la salud como PEDro, Cochrane, Scopus y pubmed; teniendo como criterio de búsqueda artículos dedicados al tratamiento de la espondilolistesis lumbar publicados hasta cinco años anteriores a la fecha de elaboración de su trabajo. (2019) enfocándose en: revisiones sistemáticas, metaanálisis, ensayos clínicos y guías de práctica clínica. Buscando responder a la pregunta: ¿Cuáles son las técnicas fisioterapéuticas más eficaces para abordar a pacientes adultos con espondilolistesis a nivel lumbar?

En sus conclusiones se evidencio la relevancia de la actividad física para esta patología, en los estudios se documenta la disminución del dolor, así como el grado de discapacidad en pacientes diagnosticados con espondilolistesis, los ejercicios prevalentes en estas rutinas incluyen estabilización lumbar, flexibilización, estiramientos, potenciación e higiene postural. Además, el autor destaca la importancia de realizar más estudios aleatorizados que aporten mayor evidencia sobre la eficacia del abordaje fisioterapéutico en la espondilolistesis.

acorde a lo anterior, destaca que la mayoría de los estudios relacionados con la temática poseen una calidad media a baja. *Pereiro Fernández Pablo D. (D., 2019)*

4.2 El efecto de la tracción mecánica sobre el dolor lumbar en pacientes con discos intervertebrales herniados: revisión sistémica y metanálisis.

Realizaron una búsqueda en diferentes plataformas de consulta, cuyas bases de datos registran temáticas de tratamientos clínicos, como pubmed, Scopus, Embase y Cochrane library con el objetivo de evaluar el método de tracción como tratamiento para mejorar el dolor lumbar, así como la morfología del disco en pacientes diagnosticados con hernias de disco. Los criterios de selección incluyeron ensayos controlados aleatorios que involucran a pacientes adultos con dolor lumbar asociado a hernia discal y confirmada mediante imágenes diagnosticas. Partiendo de 3015 registros literarios y luego de exclusión teniendo en cuenta el título, resumen y revisión completa del texto; incluyeron 7 artículos que relacionan 403 participantes valiosos en el análisis cuantitativo. El meta análisis se centró en la comparación “tracción lumbar Vs tracción lumbar simulada o sin tracción lumbar” en comparación con el grupo de control, los pacientes sometidos a tracción mostraron mejoras significativamente mayores en la percepción del dolor y la función a corto plazo con diferentes medidas estándar de 0,44 (intervalo de confianza (IC) del 95 %: 0,11-0,77) y 0,42 (IC del 95 %: 0,08-0,76), respectivamente. Las diferencias en las medidas estándar no fueron lo suficientemente relevantes como para validar los efectos a largo plazo del dolor, funcionabilidad y alteraciones en la morfología del disco.

Como conclusiones destacan la notable mejoría en la percepción del dolor y mejoras funcionales a corto plazo, pero no a largo plazo. Además, establecen que no hay suficientes pruebas que demuestren la alteración de la morfología del disco herniado. *Yu-Hsuan Cheng, Chih-Yang Hsu, Yen Nung Lin. (Yen Nung Lin, 2019).*

4.3 Eficacia de los ejercicios de estabilización lumbopélvica en pacientes con lumbalgia.

El estudio realizado por los autores busca evaluar un programa de ejercicios específicos de estabilización lumbopélvica (EELP) bajo la premisa de que, si la persona es capaz de estabilizar, reeducar y fortalecer el centro del cuerpo, será capaz de prevenir lesiones o mejorar los tiempos de rehabilitación.

El estudio se realizó con carácter prospectivo, longitudinal, experimental y de medidas repetidas para comparar los efectos luego del programa de ejercicios. Incluyo a 18 personas, 12 mujeres y 6 hombres entre los 24 y 70 años con presencia de dolor lumbar; se valoraron al inicio y final del programa, el dolor presente en los participantes iba de moderado a intenso según escala visual análoga (EVA). dentro de los criterios de exclusión se tuvieron en cuenta a mujeres embarazadas, personas con hipertensión no controlada, con trastornos cognitivos y por ausencias al tratamiento por 3 veces consecutivas. Las recomendaciones dadas a los participantes incluyen abstenerse de consumir alcohol, medicamentos, y realizar otras rutinas de ejercicio diferentes a las indicadas.

Las rutinas abarcaban 12 sesiones de 10 ejercicios diferentes en 3 series de 10 repeticiones, tres veces por semana. Evaluando durante las sesiones el peso corporal, fuerza del recto anterior, distancia dedos pis, diámetro abdominal e índice de Oswestry.

Los datos se analizaron con la prueba de wilcoxon, se evidencio disminución del dolor ($p < 0.01$) así como una mejoría en el peso, la flexibilidad y la percepción de incapacidad por la escala de Oswestry ($p < 0.01$) demostrando que la serie de ejercicios propuesto (EELP) son una alternativa en el manejo del dolor lumbar. *Varela-Esquivias A, Díaz-Martínez L, Avendaño-Badillo D. (Varela-Esquivias A, 2021).*

4.4 Ejercicios de estabilización frente a ejercicios de flexión en espondilolistesis degenerativa: una prueba aleatoria, ensayo controlado.

Los autores realizaron un ensayo controlado en el instituto nacional de rehabilitación Guillermo Ibarra Ibarra en ciudad de México. Con el objetivo de comparar la efectividad de los ejercicios de estabilización lumbar contra los ejercicios de flexión en el tratamiento para la espondilolistesis degenerativa, en términos de control del dolor y funcional. En el ensayo participaron 92 pacientes mayores de cincuenta (50) años que fueron asignados a realizar ejercicios de estabilización lumbar o ejercicios de flexión de Williams o simplemente denominados ejercicios a flexión.

Los participantes recibieron 6 sesiones de fisioterapia (citas mensuales) donde tomaron instrucción para la ejecución de las rutinas asignadas, las cuales deberían ser replicadas en casa todos los días durante 6 meses, tiempo en el que se desarrollaría la investigación. Realizaron mediciones al inicio del ensayo, al primer mes, a los tres meses y a los 6 meses. Indicando valores de intensidad del dolor (escala analógica visual), la discapacidad (índice de discapacidad de Oswestry), los resultados secundarios fueron la discapacidad (cuestionario de discapacidad de Roland-Morris), los cambios de índice de masa corporal y la flexibilidad (de la punta de los dedos al suelo, en centímetros). También se relacionó el total de días de uso de analgésicos desde el inicio hasta los 6 meses. Las diferencias entre los grupos no fueron significativas (para el dolor lumbar: 0,56[IC del 95% CL= -11.48 a 12,61]; para dolor radicular: -1.23[95% CL=-14.11 a 11,64]; para el índice de discapacidad de Oswestry: -0,61[95% CL= - 6.92 a 5.69]; para el cuestionario de discapacidad de Roland-Morris: 0.53[95% CL=-1.69 a 2.76]).

Los hallazgos que arrojó el estudio permiten concluir que los ejercicios de flexión no son inferiores y ofrecen una respuesta similar a los ejercicios de estabilización para el control del dolor, así como mejoras en la discapacidad de los pacientes con dolor lumbar crónico y espondilolistesis.

Tania Inés Nava-Bringas, Lizbeth Olivia Romero-Fierro, Yessica Patricia Trani-Chagoya, Salvador Israel Macias-Hernández, Eduardo García-Guerrero, Mario Hernández-López, Coronado-Zarco Roberto. (Tania Inés Nava-Bringas, academic.oup.com, 2021).

4.5 Espondilolistesis lumbar: comparación retrospectiva y seguimiento de tres años de dos programas de tratamiento conservador. (ensayo clínico)

Se trataron de manera conservadora a 48 paciente con dolor lumbar sintomático a raíz de una espondilolistesis grado 2, se realizaron exámenes iniciales previos al tratamiento para posteriores comparaciones de los resultados; se dividieron a los pacientes en dos (2) grupos y a cada uno de ellos se asignó un programa de ejercicios de fortalecimiento de espalda de flexión y otro de extensión. Todos los pacientes recibieron instrucciones sobre posturas, técnicas de levantamiento y el uso de calor para el alivio de los síntomas.

Luego de tres meses el 27% de los pacientes instruidos en el grupo de ejercicios a flexión, presentaban dolor moderado o intenso y solo el 32% no podía trabajar o tenía un trabajo limitado. De los pacientes que fueron instruidos en ejercicios de extensión el 67% tenía dolor moderado o severo y el 61% no podía trabajar o tenía limitada su trabajo. A los tres años de seguimiento solo el 19% del grupo de flexión tenía dolor moderado o severo y el 24% no podía trabajar o tenía limitado su trabajo. Las cifras con respecto al grupo de extensión fueron 67% y 61%.

Tres meses después la tasa de recuperación general fue de 58% para el grupo de flexión y 6% para el grupo de extensión. Luego de tres años estas cifras mejoraron al 62% para el grupo de flexión y cayeron al 0% para el grupo de extensión. De acuerdo con los autores la literatura es escasa en cuanto a la aplicabilidad de los programas de tratamiento conservador para la espondilolistesis lumbar, declaran que sobre sus hallazgos a la hora de elegir un tratamiento

conservador se deberían considerar ejercicios de flexión de espalda o de fortalecimiento isométrico de la espalda. Soportan su afirmación por los datos obtenidos en este ensayo clínico. *Sinaki M, Lutness MP, Ilstrup DM, Chu CP, Gramse RR. (Sinaki M, 1989).*

5 Marco teórico

Este capítulo describe la anatomía funcional de la columna vertebral, los diferentes sistemas que la conforman y permiten su eficiente desempeño, refiere la etiología del dolor lumbar profundizando especialmente en la espondilolistesis, se mencionan métodos de tratamiento quirúrgico y se enfatiza en el tratamiento fisioterapéutico, así como en los diferentes recursos mecánicos existentes durante el tratamiento rehabilitador de la columna lumbar.

5.1 Columna vertebral

La columna vertebral del hombre, es fundamental para mantener la posición bípeda que nos caracteriza, compuesta por 7 vértebras cervicales (C1-C7), 12 vértebras torácicas o dorsales (T1-T12), y cinco vértebras lumbares (L1-L5), además del coxis y del sacro, está unida generalmente (por arriba) mediante la articulación otlantooccipital y caudalmente (por debajo) por los dos huesos iliacos a través de las articulaciones sacroilíacas. (*Ver figura 1.*) (gottlob, entrenamiento muscular diferenciado., 2008).

Vista desde el plano sagital, la columna presenta una serie de curvas de naturaleza fisiológica, en la región cervical esta curvatura es de convexidad anterior, conocida como lordosis; en la región torácica la convexidad es posterior y se conoce como cifosis, en la región lumbar de convexidad anterior y en la región sacra constituida por cinco vértebras (S1-S5) de convexidad posterior, habitualmente fusionadas formando un solo hueso, el sacro y coccígea formada por cuatro o cinco vértebras que constituyen el cóccix. (*Ver figura 1.*) de estas la cervical y lumbar son las de mayor movilidad, mientras la torácica es más rígida y de escasa movilidad. (puig., 1998).



Figura 1. Regiones y curvaturas fisiológicas de la columna vertebral.(medspine., 2015)

5.2. Región lumbar de la columna.

La porción lumbar está compuesta por 5 vértebras lumbares: L1 – L5, dispone una forma convexa anterior denominada lordosis, y por debajo L5 se une al segmento sacro compuesto por 5 vertebras fusionadas desde S1 – S5, y el cóccix. (Ver figura 2.)

Los discos intervertebrales situados entre los cuerpos vertebrales, cumplen la función de amortiguación. (Michel Latarjet, 2006) Las facetas o articulaciones posteriores permiten la articulación de las vértebras superior e inferiormente; contiene la medula espinal que termina en L1, desde allí salen las raíces nerviosas que dentro del canal neural forman la cola de caballo o cauda equina; estas raíces nerviosas una vez que salen de las vértebras dan dos ramas una pequeña hacia atrás y otra gruesa hacia adelante la unión de estas últimas formaran los nervios que viajan hacia las piernas y la zona genital; (Ver figura 2.) fundamentalmente los nervios crural y ciático. (Hochschild, 2017)

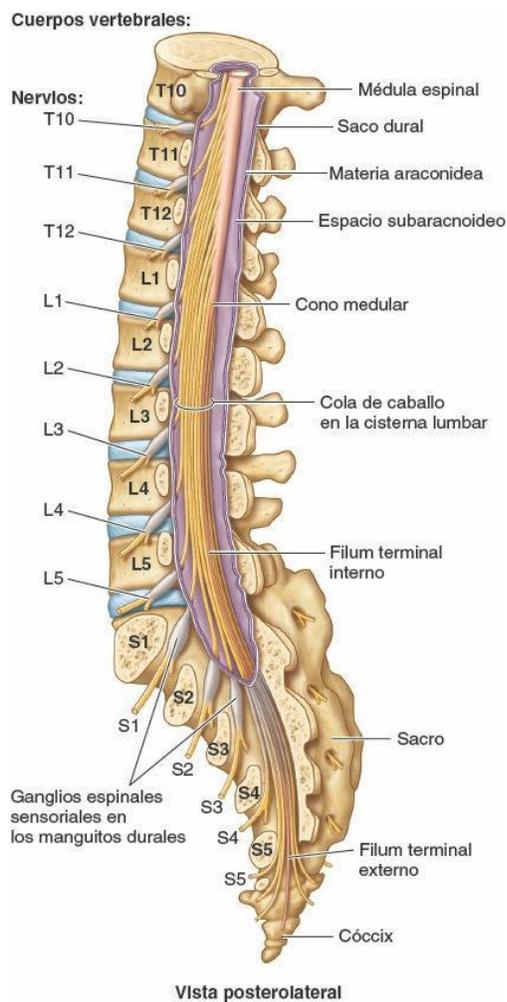


Figura 2. Cuerpos vertebrales y ramificaciones nerviosas. (Inc, 2021)

5.2.1 Vértebras lumbares.

La región lumbar forma la base de la columna vertebral en especial el macizo articular de las vértebras L5-S1 descargando a través del sacro en dirección a las cabezas femorales las presiones y las fuerzas que sobre ella reposan. Estructuralmente está compuesta por cinco vertebrales y dentro del conjunto vertebral, tiene una línea de convexidad anterior. Poseen un cuerpo vertebral más grueso a diferencia de otras vertebrales; más ancho a sus lados que de adelante a atrás, siendo más grueso en la sección anterior que en la posterior. La superficie superior e inferior son planas y

ligeramente cóncavas, así como constreñidas en el frente y los lados como reflejo de su función de transmisión de cargas (*Ver figura 3.*) (ortega, 2006)

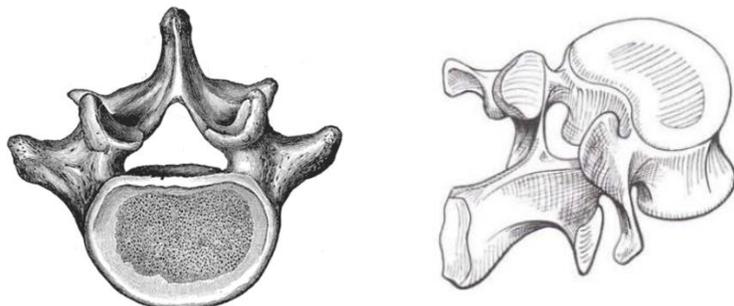


Figura 3. Vértebra lumbar. (ortega, 2006)

5.2.2 Cuerpo vertebral.

Ocupa la porción anterior de la vértebra, tiene forma de un cilindro con dos caras una superior y otra inferior, adecuadamente convexo hacia adelante, las caras laterales y anteriores son algo cóncavas en sentido vertical, su cara posterior es cóncava en sentido transversal y forma la pared anterior del canal vertebral, constituido por tejido esponjoso, espeso, sólido y resistente, sus trabéculas están orientadas en el sentido de las presiones. (Michel Latarjet, 2006). El cuerpo vertebral es el elemento que contribuye a la sustentación de la columna. (*Ver figura 4.*)

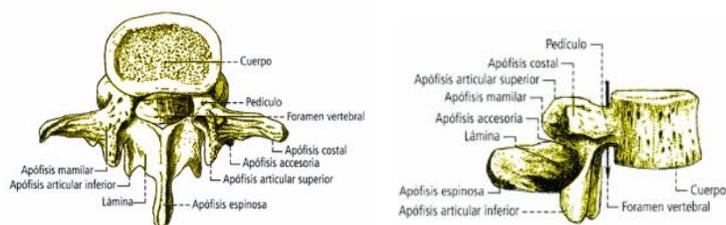


Figura 4. Cuerpo vertebral lumbar. (Michel Latarjet, 2006)

5.2.3 Constitución de una vértebra lumbar.

Estas vértebras son sólidas y móviles al mismo tiempo, dentro de sus características especiales resaltan: *Cuerpo*: es muy voluminoso, su diámetro transversal es mayor que el anteroposterior. *Pedículos*: emergen de los ángulos posterosuperiores del cuerpo y se dirigen de adelante hacia atrás, cortos y horizontales. *Láminas*: espesas y cuadriláteras, son oblicuas de arriba hacia abajo, se unen al pedículo y a la apófisis articular superior. (Ver figura 5.) (Kapandji a. , 2008)

Apófisis espinosa: cuadrilátera y robusta se dirige en sentido horizontal hacia atrás, sus caras laterales son sagitales y rugosas. *Apófisis transversas*: también llamadas apófisis costales, a causa de su forma, son abultadas y transversales, y se desprenden a la mitad de la altura del pedículo. *Apófisis articulares*: se distinguen las superiores excavadas, situadas por detrás y por encima de la apófisis costal, orientadas hacia atrás y medialmente; las inferiores cilindroides, convexas, orientadas en sentido lateral y ligeramente hacia adelante. Estas superficies articulares están enmarcadas por un rodete óseo prominente. (Ver figura 5.) *Foramen vertebral*: triangular de lados iguales es relativamente pequeño pues, a partir de la segunda vértebra lumbar, sólo contiene las raíces espinales inferiores y sus envolturas. (Kapandji a. , 2008)

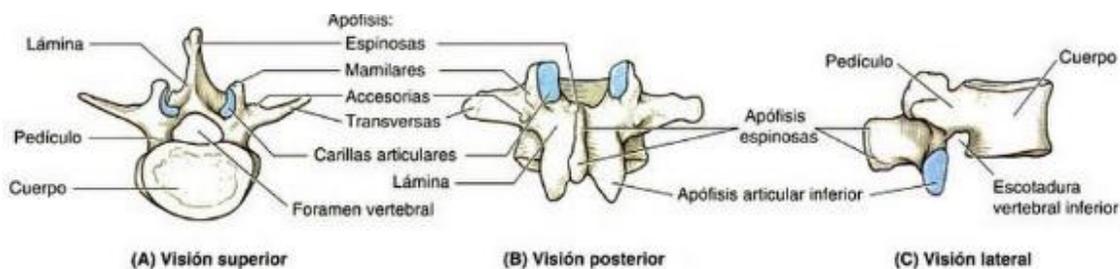


Figura 5. Vista vértebra lumbar y sus partes. (Keith L. Moore, 2008)

5.2.4 Superficies articulares.

En la región lumbar las superficies talladas en segmentos cilindro, convexo para la vértebra superior y cóncavo para la inferior configuran una trocoide. El macizo de las apófisis articulares se aplica por delante y medialmente a las apófisis articulares superiores de la vértebra subyacente.

(Ver figura 6.)

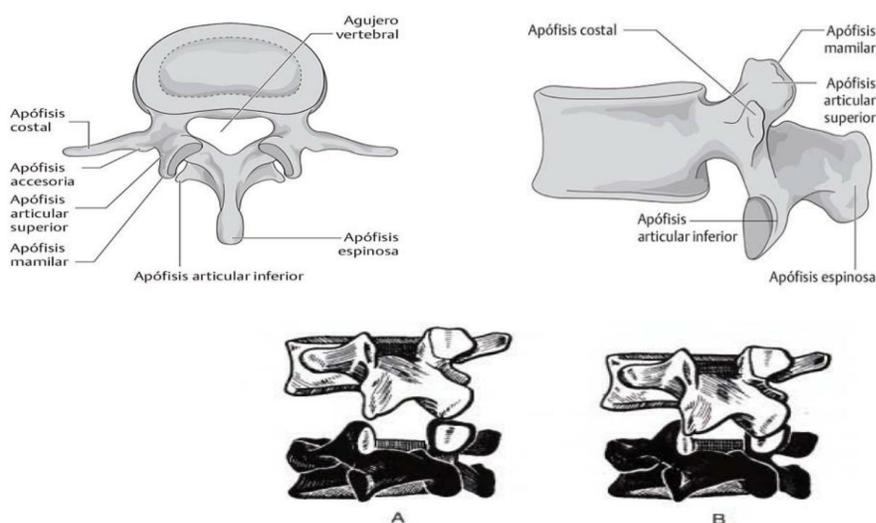


Figura 6. Superficies articulares. (radiologia.es, 2015) (kapandji a. , 2008)

5.3 Disco intervertebral.

Se comporta como ligamento interóseo, tienen forma de lente biconvexa; sus caras superior e inferior adhieren a las caras de las vértebras que unen. Actúa como una almohadilla amortiguadora entre las vértebras, así como articulación cartilaginosa que permite una leve movilidad en la columna.

En el nivel lumbar, el espesor es mayor en la parte anterior de las porciones cervical y lumbar, allí donde la columna describe una curva de convexidad anterior. Pero las curvaturas de la columna no se deben solo al espesor de los discos, también participa la forma de las vértebras.

5.3.1 Estructura del disco intervertebral.

Los discos intervertebrales se hallan formados por dos porciones, una periférica fibrosa y otra central, blanda y gelatinosa.

Porción periférica: Dura y elástica forman una especie de anillo adaptado a las superficies, los haces fibrosos que la conforma se agrupan en laminillas cuya dirección está determinada por las tracciones a las que están sometidas. Las fibras que forman una laminilla poseen la misma dirección: *verticales*, para la flexión y la extensión, *Transversales* para el movimiento de rotación y oblicuas para los movimientos complejos de la columna vertebral. La oblicuidad crece en relación proporcional con la presión que soporta el disco. (*ver figura 7.*)

Porción central: Está formada por un centro blando, gelatinoso, el núcleo pulposo y se encuentra algo más cerca de la circunferencia posterior, compuesto por una sustancia gelatinosa constituida en un 80% de agua, químicamente se encuentran en porcentajes menores: cierto tipo de ácido hialurónico, mucopolisacáridos y keratosulfato (kapandji, 1981), el núcleo pulposo tiene una función importante en los movimientos de la columna, se alarga o se concentra sobre sí mismo, puede desplazarse hacia adelante o hacia atrás en la medida que lo permita la elasticidad de la parte fibrosa del disco, (*ver figura 7.*)

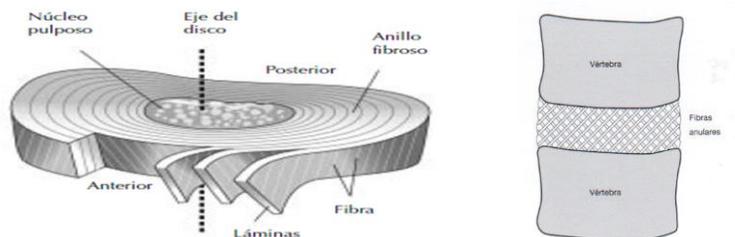


Figura 7. Disco intervertebral. (liemohn, anatomia y biomecanica del tronco, 2001)

5.4 Medios de unión.

Los ligamentos que unen las vértebras entre sí, el sacro y el resto de la pelvis son: los longitudinales anterior y posterior, ligamento amarillo, ligamentos inter y supra espinoso, ligamentos iliolumbares, ligamentos sacrotuberosos, estos últimos suelen ser zonas donde aparecen puntos de dolor. (Hochschild, 2017). (Ver figura 8.)

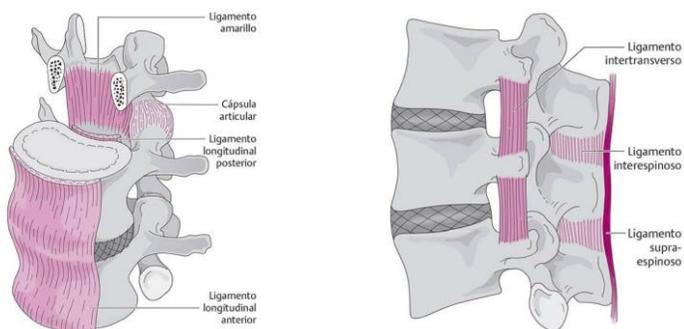


Figura 8. Ligamentos de la columna lumbar. (Hochschild, 2017).

Las vértebras L4 y L5 se unen a la cresta iliaca por medio de los ligamentos: iliolumbar superior e inferior; así como por el ligamento sacroilíaco anterior. (ver figura 9).

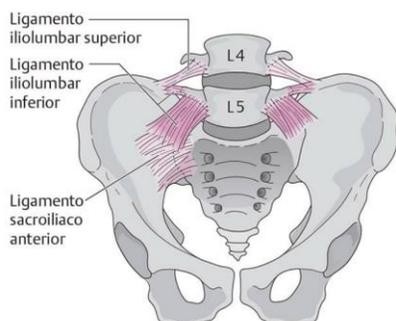


Figura 9. Ligamentos lumbosacros. (Hochschild, 2017)

5.5 Músculos de la columna lumbar.

En este se relacionan los diferentes grupos musculares que actúan como soporte de la columna lumbar y el papel que desempeñan durante su accionamiento.

Los diferentes músculos asociados al movimiento de la región lumbar cumplen con funciones específicas de acuerdo a su posición y ubicación dentro del segmento en mención (A Lomelí-Rivas, 2019). Estos se presentan a continuación mediante las figuras 10 – 12 y las tablas 1 - 3, que relacionan su nombres, ubicación y tipo de movimiento en el que participan. (ver figuras 10-12), (ver tablas 1-3)

5.5.1 Músculos de la pared abdominal.

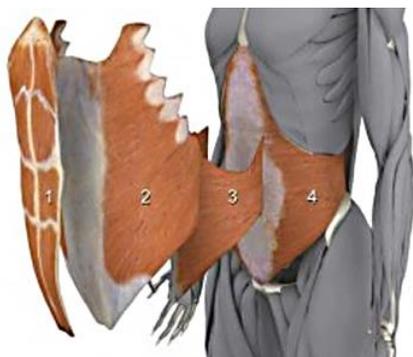


Figura 10. Músculos abdominales. (urbanfisio, 2022)

Tabla 1. Clasificación de los músculos abdominales.

1. Músculo recto del abdomen	Conserva la posición erecta y mantiene las vísceras en su posición.
2. oblicuo externo.	<i>Flexor y rotador de la columna</i>
3. oblicuo interno.	<i>Flexor y rotador de la columna. Tensor de la pared abdominal.</i>
4. transverso del abdomen.	<i>Cara más profunda de los músculos abdominales. Soporte de las vísceras.</i>

5.5.2 Músculos posteriores. (plano profundo)

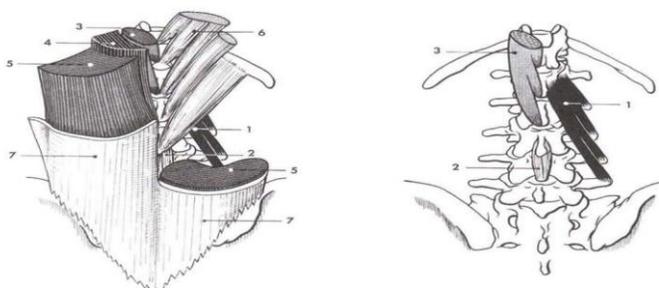


Figura 11. Aponeurosis del dorsal ancho. (ortega, 2006)

Tabla 2. Músculos posteriores de la región lumbar.

Músculo.	Acción.
1. transverso espinoso.	<i>Extensores y rotadores de la columna.</i>
2. Interespinosos.	<i>Extensores de la columna.</i>
3. Espinoso dorsal.	<i>Extensor de la columna.</i>
4. Dorsal largo.	<i>Extensor de la columna.</i>
5. Sacrolumbar iliocostal.	<i>Extensor de la columna lumbar.</i>
6. Serrato menor posteroinferior. (Medio)	<i>Contrarresta la acción del diafragma.</i>
7. Dorsal ancho. (superficial)	<i>Angular inferior de la escapula.</i>

5.5.3 Musculo cuadro lumbar.

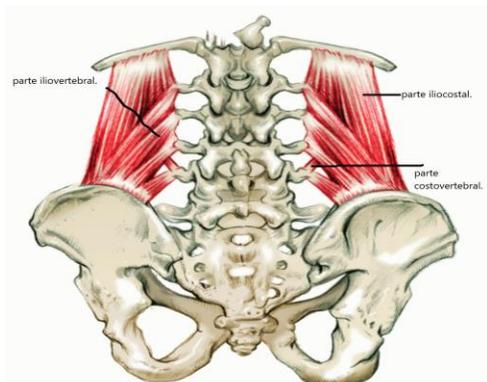


Figura 12. Músculos cuadro lumbar. (cuerpohumano, 2019)

Tabla 3. Músculos cuadro lumbar.

Musculo. (Parte)	Disposición de las fibras.	Acción. (en conjunto)
Iliovertebral.	Se proyecta desde la apófisis costal hasta la cresta iliaca.	Lleva el tórax hacia atrás lo que contribuye a la espiración.
Iliocostal.	Se proyecta entre la última costilla y la cresta iliaca, se sitúan más lejos de la parte posterior.	Fijado a la pelvis produce extensión de la columna lumbar.
Costovertebral.	Se proyectan en dirección oblicua desde la última costilla hasta la apófisis costales de las vértebras lumbares.	Con la contracción unilateral, flexión lateral. Si el extremo se invierte el musculo eleva la pelvis.

5.6 Movilización de la región lumbar.

El presente describe los movimientos que puede realizar la columna lumbar y la mecánica vertebral involucrada en los mismos. Proporciona una tabla con los diferentes grados de movilidad presentes en el segmento lumbar, dorsal y cervical.

La movilización de la columna se desarrolla en función de los discos intervertebrales, así como de la musculatura y el sistema ligamentario, (Dr. Navarro García, Dr. Ruiz Caballero, Dra. Brito Ojeda, & Dr. Oliveira, 2007) en la región lumbar gracias a su morfología las vértebras lumbares, permiten movimientos de: flexión, extensión, rotación y extensión de laterales. (*Ver figura 13*).

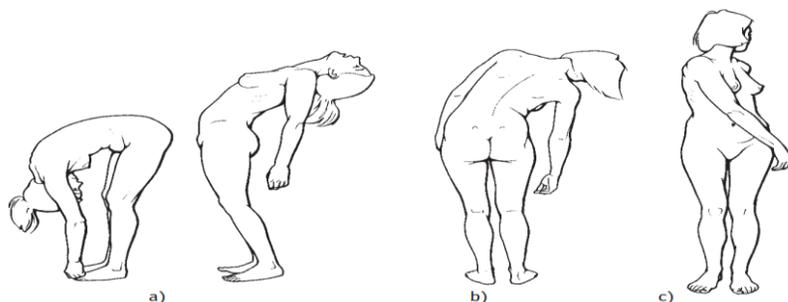


Figura 13. Movimientos de la columna vertebral.
a) flexión - extensión; b) flexión lateral; c) rotación. (gottlob, *entrenamiento muscular diferenciado.*, 2008)

5.6.1 Flexión.

Cuando inclinamos el tronco hacia adelante, este se encuentra en flexión causando que los procesos articulares inferiores de la vértebra superior se deslice hacia arriba y a delante en los procesos superiores de las vértebras inferiores. (*Ver figura 14.*)

La flexión desde la posición vertical involucra músculos postvertebrales en ambos lados, estando limitada por la tensión en la parte posterior del disco intervertebral, el ligamento longitudinal posterior, la flava o ligamento amarillo y los ligamentos inter y supra espinosos. (Francoise Richard D.O., 2003).

La flexión desde la posición supina es provocada por el psoas mayor y los músculos abdominales anteriores.

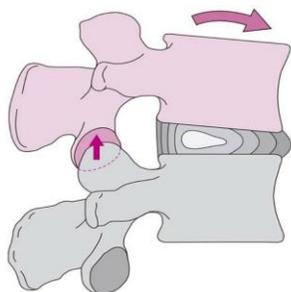


Figura 14. Flexión de la columna lumbar. (Hochschild., 2017)

5.6.2 Extensión.

En la extensión máxima para dos vertebrales adyacentes, representa el acercamiento de las apófisis espinosas en este movimiento la vertebra superior se desliza hacia atrás. (Francoise Richard D.O., 2003) La superposición de las superficies articulares puede ser grave algunas veces y se conoce como cierre facetario (*ver figura 15*). La extensión del movimiento se limita por las partes anteriores del anillo fibroso y el ligamento longitudinal anterior, así como por la inhibición ósea durante el final del movimiento como resultado del contacto facetario. La sensación final es firme y elástica debido al cierre facetario. (Hochschild, 2017)

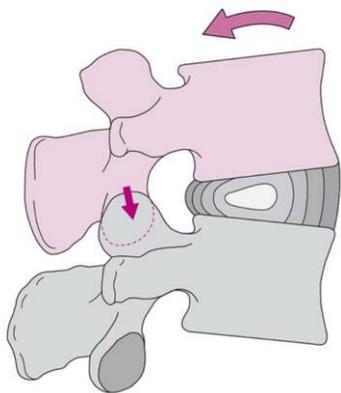


Figura 15. Extensión de la columna lumbar. (Hochschild, 2017)

5.6.3 Flexión lateral.

Representa la posición de la vertebra al inclinarse hacia la derecha o la izquierda en el eje medio del cuerpo, la vertebra superior se inclina sobre la inferior de acuerdo al movimiento y se presenta un acercamiento entre las apófisis transversas de cada una de las vértebras y se separan del lado opuesto al movimiento. (Francoise Richard D.O., 2003) El ligamento transverso limita la lateroflexión por la tensión que este recibe. (*ver figura 16*).



Figura 16. Flexión lateral vertebral lumbar. (ortega, 2006)

5.6.4 Rotación.

La rotación es el movimiento alrededor de un eje, la columna realiza este movimiento en combinación con una ligera lateroflexión; la apófisis transversa del lado del giro rota hacia posterior y se produce un deslizamiento diferencial sobre las facetas articulares ya que una faceta se desliza hacia adelante y la otra hacia atrás, (Francoise Richard D.O., 2003) el disco se ve afectado disminuyendo su altura, se presenta cizallamiento a nivel de los anillos y la presión en el disco aumenta.

Este movimiento se ve limitado por las fibras del disco, las apófisis articulares, así como por los ligamentos intertransversos. (*ver figura 17*)

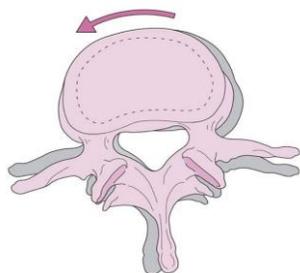


Figura 17. Rotación izquierda vértebra lumbar. (Hochschild, 2017)

Tabla 4. Movilidad media por cada region de la columna vertebral.

Region Columna Vertebral.	Flexión (+) Extensión (-)	Flexión Lateral	Rotación
•R. cervical.	•+ 70° / - 60°	•± 40°	•± 70°
•R. toraccica.	•+ 30° / -20°	•± 20°	•± 40°
•R. lumbar.	•+ 60° / - 30°	•± 25°	•± 5°
•C.V. Total.	•+ 140°*/ -110°	•± 85°	•± 115°

*en la flexión no se pueden sumar las amplitudes de cada segmento vertebral ya que el conjunto estructural impide que así sea. (gottlob, entrenamiento muscular diferenciado, 2008)

5.7 Etiología del dolor lumbar.

Este que refiere las lumbalgias y en especial la espondilolistesis como afecciones de la región lumbar, describe causas posibles y concretas. Se relaciona su sintomatología, clasificación y tipos de lesión.

5.7.1 Lumbalgias.

El dolor lumbar es un síntoma y no un diagnóstico indica en su informe de enfermedades reumáticas la OMS, además declara que en los países industrializados alcanza proporciones epidémicas. (grupo investigacion científico OMS, 1992), solo una pequeña porción de los pacientes que manifiestan dolor lumbar resulta ser diagnosticados con claras lesiones como: compresión nerviosa, hernia discal, fractura, tumor, infección, espondilolistesis entre otras. también se indica que en la mayoría de los casos las causas de estos episodios de dolor son desconocidos, por lo anterior los métodos de diagnóstico como las imágenes de RM, resultan ser

más adecuadas que las imágenes de RX pues se pueden evidenciar mucho mejor la degradación de tejidos, así como envejecimiento y ruptura de ligamentos.

A su vez, los conocimientos acerca del dolor permiten comprobar que las sensaciones como: frustración, temor, preocupación y cansancio, posibilitan el aumento de la percepción del dolor mientras que la alegría, tranquilidad y confianza disminuyen la sensación del mismo. (grupo investigación científico OMS, 1992),

5.7.2 Espondilolistesis.

Se entiende por espondilolistesis el resultado degenerativo de la espondilólisis, y ésta describe de manera congénita una formación anormal de la lámina de la vértebra; en otros casos el hueso se forma de manera correcta pero la lámina vertebral se rompe a consecuencia de caídas o traumatismos repetidos (*ver figura 18*); frecuente en deportistas esta suele recuperarse entre 6 y 9 meses si no presenta listesis (desplazamiento) anterior de la vértebra afectada. De presentarse desplazamiento vertebral la patología se conocerá entonces como espondilolistesis. (Suken A. Shah, 2022)

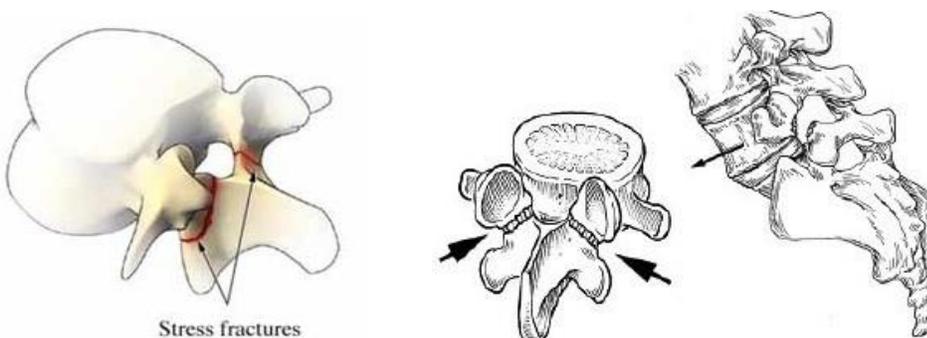


Figura 18. Fractura lamina vertebral. (espondilólisis). (Williams, 2001)

La espondilolistesis se presenta cuando la apófisis articular ubicada en la parte posterior de la vértebra sufre una alteración como, falta de osificación en las apófisis articulares, una fractura o por desgaste articular. El desplazamiento de la vértebra es progresivo en consecuencia, el cuerpo vertebral pierde estabilidad o capacidad de contención, permitiendo el movimiento de la vértebra hacia adelante. (Sola., 2021). (ver figura 19)

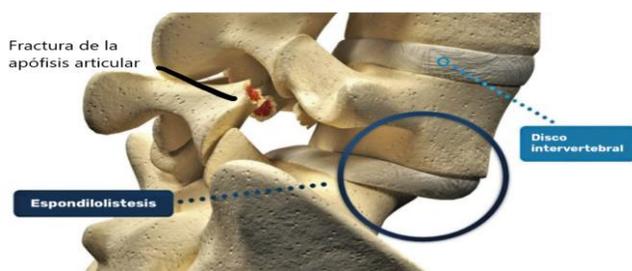


Figura 19. Desplazamiento vertebral en espondilolistesis. (meditip.lat, 2022)

5.7.3 Tipos de espondilolistesis.

Congénita: presente desde el nacimiento, describe una formación anormal en los huesos que constituyen la vertebra y las ponen en riesgo de sufrir inestabilidad y deslizamiento que generalmente es anterior (hacia adelante). (Clinic, clevelandclinic.org, 2022)

Ístmica: resultado de una espondilólisis, que describe fisuras o pequeñas fracturas por compresión en las estructuras articulares. Pueden llegar a debilitar tanto el hueso que este termina desplazándose fuera de su sitio.

Degenerativa: describe la degeneración de tejidos que estabilizan la vertebra, permitiendo que esta sea menos capaz de resistir los movimientos y termine desplazándose.

Traumática: una lesión lleva a fractura y deslizamiento de la vertebra afectada. (cleveland c. , 1995)

5.7.4 Sintomatología en espondilolistesis.

Los síntomas en las primeras fases de la enfermedad son discretos, muchos pacientes no advierten que la padecen, cuando ocurren los síntomas el más común es el dolor de espalda que suele extenderse hacia la parte inferior la región lumbar, también puede causar espasmos musculares e intensos dolores al movilizar la región lumbar, tanto en rotación como en extensión, así como también durante los cambios de posición al estar sentado y levantarse, claudicación al caminar o estar en bipedestación. (James Rainville, 2019).

5.7.5 Clasificación de la espondilolistesis.

La escala de meyerding, permite mediante la división longitudinal de la vertebra inferior conocer el desplazamiento de la vertebra superior, esto al segmentar la vertebra inferior en 4 partes y teniendo en cuenta para estas mediciones el borde posterior de la vertebra superior (*ver figura 20-21*). De tal manera, si el deslizamiento del cuerpo vertebral superior alcanza la cuarta parte del inferior, se considera una espondilolistesis de grado 1. Continuando progresivamente hasta llegar al 5° grado conocido como espondiloptosis. (Garza, 2013).



Figura 20. Grados de desplazamiento vertebral. (James Rainville, 2019)

Tabla 5. Índice de subluxación lumbar de meyerding.

GRADO	NIVEL DE DESPLAZAMIENTO
1	<25%
2	26 – 50%
3	51 – 75%
4	76 – 100%
5	>100%.

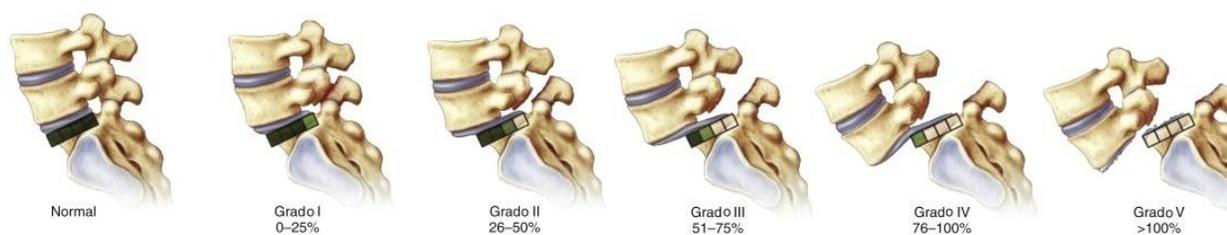


Figura 21. Desplazamiento vertebral en espondilolistesis. (fisioterapia-online.com, 2020)

5.8 Tratamiento.

Este menciona los diferentes tratamientos recomendados según varios artículos consultados y referenciados, describe técnicas y herramientas utilizadas en el tratamiento de lumbalgias y espondilolistesis.

En los diferentes tipos de espondilolistesis la forma de proceder e indicar un tratamiento depende del paciente y su condición, es importante determinar: presencia e intensidad del dolor, así como afectación neurológica. (García-Ramos, Valenzuela-González, Alpízar-Aguirre, Rosales-Olivarez, & Reyes-Sánchez, 2020) El tratamiento inicial y de elección es conservador, esto indica que el paciente deberá tener buenas prácticas de higiene postural, mantener un peso adecuado, realizar ejercicios de estabilización lumbar y abdominal. En pacientes con presencia de dolor intenso se indica reposo no superior a dos días ya que la inactividad puede ser nociva para los

músculos de la espalda baja. (James Rainville, 2019). Igualmente se formulan medicamentos analgésicos, antiinflamatorios relajantes musculares e infiltraciones epidurales en picos de intenso dolor.

En casos en los que el sistema neurológico este comprometido y el grado de desplazamiento vertebral sea mayor al 50% el profesional indicara estudios para iniciar tratamiento quirúrgico.

5.8.1 Tratamiento quirúrgico.

El procedimiento quirúrgico continúa siendo muy debatido respecto a las múltiples técnicas aplicadas, así como de los sistemas de fijación (instrumentación) utilizados para estabilizar el segmento a intervenir. En ocasiones el tratamiento y la instrumentación se ven sujetos a la preferencia del cirujano y no de lineamientos establecidos para el tratamiento. (Bernal-Márquez & Gils., 2002).

Así mismo se declara que el tratamiento de la espondilolistesis recae en cuatro áreas:

1. **Descompresión y liberación:** es un procedimiento que se realiza para aliviar el dolor por causa de la compresión de los nervios, el procedimiento indica la eliminación de una porción de hueso o de disco que comprimen el nervio, permitiendo ganar más espacio y eliminar la sensación de dolor.

(Peter Ullrich, 2015). (ver figura 22)

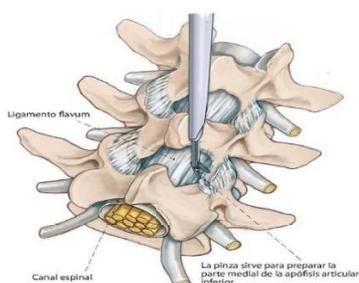


Figura 22. Procedimiento quirúrgico descompresión de estenosis lumbar. (Ruetten, Komp, P.Hahn, & Oezdemir., 2013)

2. **Artrodesis:** procedimiento que se utiliza para fusionar permanentemente dos o más vertebras, con el objetivo de impedir el movimiento entre ellas; (wang, Dailey, & Kaiser, 2014) se utilizan para este efecto porciones de injertos óseos o también se suelen fijar con cierto tipo de varillas, tornillos, placas o cajas. (ver figura 23).

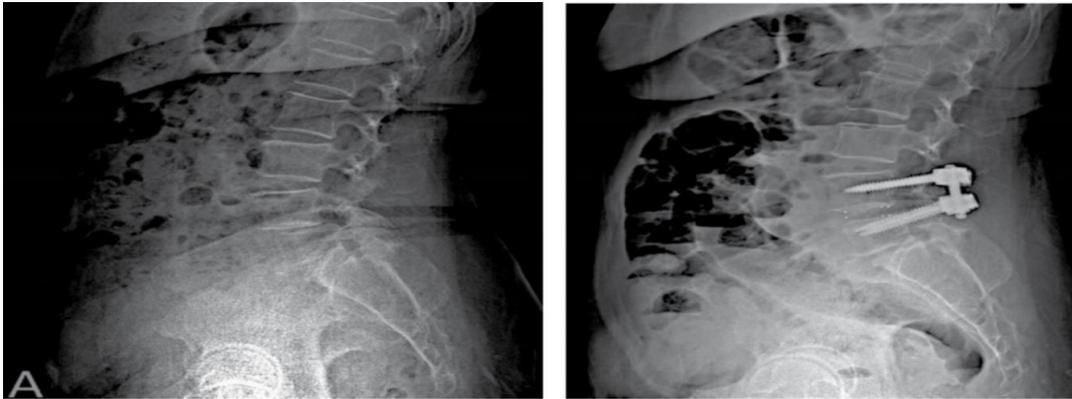
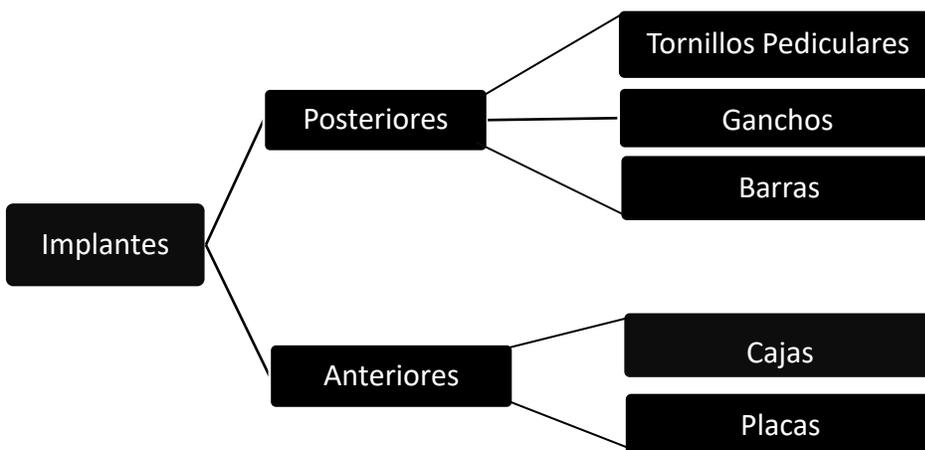


Figura 23. Procedimiento quirúrgico, artrodesis lumbar.
(CL, J, VB, & LM, 2020)

3. **Instrumentación:** la columna vertebral combina dos particularidades mecánicas contrarias, la rigidez y la elasticidad los estabilizadores dinámicos naturales de la espalda son los músculos, así como los estabilizadores estáticos son las vértebras, discos intervertebrales, apófisis articulares y las estructuras ligamentarias. (Uhlendorff, 2018) Dentro del procedimiento quirúrgico se utilizan una serie de tornillos que permiten estabilizar o fijar la columna valiéndose de una serie implantes vertebrales que se pueden dividir en dos grupos. (ver figura 24 y tabla 6).

Tabla 6. Implantes vertebrales utilizados en procesos quirúrgicos.



Fuente: (Uhlendorff, 2018)



Figura 24. Sistemas de fijación vertebral CQ.
(sinacor.mx, 2021) (GmbH, 2013)

4. **Reducción:** es una técnica quirúrgica que mediante el uso de la instrumentación busca retraer en cierto grado de listesis (deslizamiento) presente en las vértebras afectadas, reduciendo la estenosis y permitiendo alivio a la sensación de dolor. (ver figura 25)

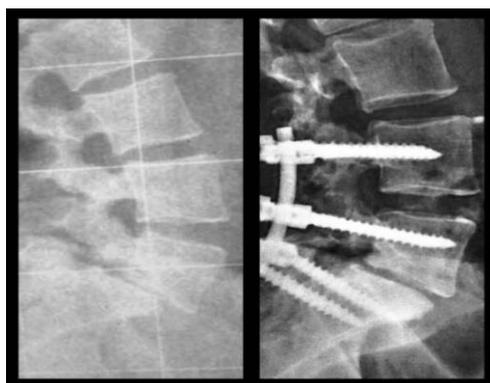


Figura 25. Reducción listesis lumbar. (Benítez., 2016)

Las diferentes combinaciones de estas cuatro áreas, así como de las técnicas para realizar la cirugía son motivo de discusiones que buscan posicionar una modalidad específica como la mejor en el tratamiento quirúrgico de la espondilolistesis, sin embargo, se asume que el tipo de cirugía dependerá del tipo y grado de espondilolistesis que padezca el paciente. (Bernal-Márquez & Gils., 2002).

5.8.2 Tratamiento conservador.

En espondilolistesis el tratamiento inicial y por elección es el conservador, este depende de factores como la edad, condición general del estado de salud, presencia o ausencia de dolor y grado de listesis vertebral. Es así que para pacientes con baja, moderada o nula listesis se indica uso de corse por un espacio de no más de 14 meses. (Acosta, 2006)

En pacientes asintomáticos se indica:

Tabla 7. Indicaciones pacientes asintomáticos con baja listesis.

<p>Educación Higiene Postural.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Escuela de espalda. •Desarrollar actividades cotidianas de manera segura. •Cuidado y proteccion de la espalda. •Prevencion nuevos episodios de dolor lumbar.
<p>Control De Peso.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Acompañamiento profecional. •Alimentacion segun requerimiento nutricional. •Control de porciones. •Actividad fisica.
<p>Ejercicio Diario De Musculatura Abdominal.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Acompañamiento profecional. •Aprendizaje rutinas indicadas por el area asistencial. •uso de equipos mecanicos.

En pacientes con presencia de síntomas:

Tabla 8. Indicaciones a pacientes con presencia de dolor.

<p>Reposo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo a indicaciones medicas. • De acuerdo a intensidad del dolor.
<p>Medicación Prescrita.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analgésicos. • Antiinflamatorios. • Relajantes musculares.
<p>Cinesiterapia.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ejercicios de rehabilitación postural para corregir la hiperlordosis. • Ejercicios de fortalecimiento musculos paravertebrales. • Ejercicio de fortalecimiento abdominal.
<p>Medicina Física.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Termoterapia superficial y profunda. • Electroestimulación. (tens)

Cabe resaltar que, al fallar el tratamiento conservador y bajo la persistencia de síntomas como dolor lumbar, dolor en extremidades, claudicación neurogénica y pérdida de calidad de vida en general; el tratamiento quirúrgico ofrece mejores resultados en pacientes con espondilolistesis sintomática. (CL, J, VB, & LM, 2020). Se debe agregar que, la decisión de realizar la cirugía es del paciente y de su umbral de tolerancia al dolor.

5.8.3 Rehabilitación física.

La OMS define la rehabilitación como un conjunto de intervenciones encaminadas a optimizar el funcionamiento y reducir la discapacidad en personas con afecciones de salud en la interacción con su entorno, (O.M.S., 2021).

Considerando lo anterior, los rehabilitadores físicos junto con el medico ortopedista, proponen el manejo clínico que tendrán patologías de carácter músculo esquelético como la espondilolistesis y lumbalgias inespecíficas, el tratamiento se establece de acuerdo a condiciones propias de cada paciente como. La edad, predominio del dolor, y grado de displasia presente en las vértebras afectadas, (Clinic, 2005) presencia de estenosis del canal medular, así como la condición ligamentaria del disco intervertebral.

5.8.4 Ejercicios indicados en espondilolistesis y lumbalgias.

Gran parte de los especialistas coinciden en que el abordaje de la patología este sujeto a las condiciones únicas de cada paciente; en espondilolistesis de baja listesis y baja presencia de dolor se pueden realizar rutinas de ejercicios de estabilización lumbar, así como el fortalecimiento de los músculos abdominales, los músculos paravertebrales y estiramientos sistemáticos de la musculatura isquiosural (Martín, 1994). En general se deben priorizar los ejercicios de flexión sobre los ejercicios de extensión, señala RR Gramse en su estudio comparativo “*espondilolistesis lumbar: un enfoque racional para el tratamiento conservador.*” (RR Gramse, 1980).

5.8.4.1 Ejercicios de estabilización lumbar.

Varios estudios con adecuada calidad metodológica apoyan los beneficios que se obtiene al practicar este tipo de ejercicios; se busca con estos ejercicios: mantener la rigidez de la columna lumbar, aumentar la fuerza y el tono muscular y reducir el dolor de la espalda baja. Para lograr este objetivo se desarrollan rutinas con los ejercicios expuestos en la tabla número 9. (ver tabla 9).

Tabla 9. Ejercicios de estabilización lumbar.

	<p>BASCULACIÓN O INCLINACIÓN PÉLVICA.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En posición decúbito supino, talones apoyados sobre el suelo y soportando peso, apoya la espalda contra el suelo • a la vez que contrae y eleva los gluteos. se realizan repeticiones según indicaciones. <p>(www.merckmanuals.com)</p>
	<p>ELEVACIÓN ALTERNA DE EXTREMIDADES. (Musculatura paravertebral)</p> <p>Se eleva un brazo y la pierna contraria, de manera que estas queden alineados con la horizontal.</p> <p>(fitnessblender.com)</p>
	<p>PUENTE ANTERIOR.</p> <p>Con apoyo de ambos pies se eleva la pelvis, se sostiene posición por 15 segundos y se repite según indicaciones. trabaja músculos de la zona media e isquiotibiales. (pinterest.com.mx).</p>
	<p>PUENTE ANTERIOR CON PROGRESIÓN.</p> <p>Se mantiene la posición de puente, y se agrega elevación alternada de una pierna controlando la posición neutra de la columna. (adictosalgym.com)</p>
	<p>PUENTE LATERAL CON APOYO EN RODILLAS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El paciente inicia el control con el apoyo del antebrazo y las rodillas. • participan músculos como: gluteos, cuádriceps, erectores de la columna. (cigna.com)
	<p>PUENTE LATERAL CON PROGRESIÓN EN DIFICULTAD.</p> <p>En esta modalidad se incrementa el nivel de esfuerzo ya que se agrega apoyo en los pies.</p> <ul style="list-style-type: none"> • se involucran los músculos oblicuos interno y externo, el recto del abdomen y el serrato anterior. <p>(deportesdeciudad.com).</p>

5.8.4.2 ejercicios fortalecimiento paravertebral y núcleo abdominal. (Core)

La tonificación y entrenamiento de la musculatura paravertebral permiten reducir la sensación de dolor lumbar, así como también contribuye con el buen desempeño vertebral, si la musculatura paravertebral se encuentra ejercitada y fuerte contribuirá con la contención de posibles desplazamientos vertebrales. (Miñarro, 2009); algunos ejercicios fortalecedores paravertebrales y abdominales son expuestos en la tabla 10. (ver tabla 10).

Tabla 10. Ejercicios paravertebrales.

	<p>EL NADADOR.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición boca a bajo, se flexiona un brazo y la mano se ubica bajo la frente, se eleva el brazo libre • así como también la pierna contraria alternando según rutina indicada. (tabladeejerciciosparahacerencasa.com)
	<p>ESTIRAMIENTO DE GATO.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En posición cuadrupeda se alinean las manos al ancho de los hombros y las rodillas al ancho de las caderas, se inhala sin realizar extensión de la columna, al exhalar se contrae y eleva el abdomen. se realizan series y repeticiones según indicaciones. • Este ejercicio mejora la flexibilidad y movilidad de la columna vertebral trata y previene lesiones de la columna vertebral. (aimarrollan.youtube)
	<p>FLEXION EXTENSION CONTROLADA.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se apoya sobre el balón boca abajo, y se alterna la elevación contraria de las extremidades superiores e inferiores. • fortalece y tonifica la musculatura paravertebral lumbar, apoyándose en una herramienta de trabajo conocida como fitball. (fisioterapia-online.com)
	<p>ABDOMINAL PARCIAL.</p> <p>Se cruzan los brazos sin apretar, contraiga el abdomen y levante los hombros hasta flexionarse parcialmente manteniendo la cabeza alineada con los hombros. se realizan series según indicaciones. (demo.staywellhealthlibrary.com).</p>

5.9 Tecnologías asistenciales.

Este presenta el concepto general de tecnologías asistenciales, algunos ejemplos y su aplicación. Describe terapias y equipos tecnológicos destinados al tratamiento de patologías lumbares con y sin listesis (desplazamiento).

La tecnología asistencial o de apoyo posibilita la inclusión y la participación de personas con discapacidad y enfermedades no transmisibles, tienen como finalidad conservar o mejorar las funciones y la autonomía de las personas, ayudándoles a llevar una vida digna, sana y con el mayor nivel de autonomía posible. (ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. (O.M.S.), 2018).

El uso de estas herramientas permite a los pacientes recuperar funciones sobre órganos, tejidos y sistemas que presentan deterioro por causas naturales, progresivas o traumáticas. Las características de estas tecnologías van desde lo simple hasta lo más complejo y elaborado. Es por ello que intervienen en su desarrollo ramas del conocimiento como tecnologías, ingenierías y áreas de la salud.

5.9.1 Tecnologías asistenciales de tratamiento lumbar.

5.9.1.1 Corsé de estabilización lumbosacro: se caracteriza por ofrecer compresión antero-posterior, y permite liberar la tensión presente en los discos intervertebrales y otros ligamentos asociados a desordenes estructurales como la hiperlordosis. (orliman.com, 2022). Permite conservar posturas ergonómicas apropiadas limitando movimientos de flexión y extensión. (*ver figura 26*)



Figura 26. corsé sacrolumbar. (orliman.com, 2022)

5.9.1.2 Pelota suiza: la pelota de pilates o fitball fue creada por aquilino cosan, la innovación llegó con el tamaño de estas pues, eran más grandes del tamaño tradicional; fue la doctora susanne klein-bogelbach directora de una escuela de fisioterapia en suiza quien integro este elemento como parte de sus rutinas de terapia física en el tratamiento del desarrollo neurológico, además trabajo para impulsar su uso en pacientes adultos ortopédicos. (Zárate, 2014). (ver figura 27). Su uso por medio de la técnica de relajación ofrece un cierto nivel de descompresión vertebral permitiendo al disco retraerse y liberar la compresión intervertebral. del mismo modo el balón de pilates es una herramienta de apoyo en algunos ejercicios recomendados como la flexión extensión vista en la tabla 10.



(a).



(b).

Figura 27. Método pilates.

a) relajación, b) esfuerzo. (a). (berniniwellness, 2020). (b). (Sánchez, 2016)

5.9.1.3 Electroterapia: técnica utilizada por fisioterapeutas mediante la cual se aplican corrientes pulsadas a través de la piel; estas corrientes son de baja y muy baja frecuencia para tratar dolencias musculares y articulares, su objetivo es aliviar el dolor, busca contraer los músculos para activar la circulación local, recuperar el tono muscular, así como la reeducación funcional. (ver figura 28)



Figura 28. Electroestimulación músculos lumbar. (Workerscompdoctor.com, 2022).

5.9.1.4 Mesa de tracción: Las terapias de tracción conocidas como IDD (intervertebral differential dynamics) son realizadas mediante el uso conjunto de una cama y un módulo de arrastre digital que permite halar de manera controlada un arnés que se asegura en el área a tratar (lumbar o cervical) el módulo de tracción permite programar funciones, ciclos e intensidades, de esta manera se genera la fuerza de tracción; (spinacolombia, 2020) permitiendo la distracción de las vértebras y promoviendo la difusión de agua, oxígeno y nutrientes al disco. (ver figura 29)



Figura 29. Unidad de tracción cervical y lumbar tritón DTS. (interfencialesMX, 2017).

5.9.2 Diseño.

Diseñar es un proceso creativo que involucra el conocimiento de las diferentes problemáticas en las diversas áreas del desarrollo humano, responde con soluciones a estas necesidades particulares planificando creativamente con recursos existentes o con la creación de estos; el diseño es un proceso innovador y altamente iterario sustentan los autores Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, en su libro “*diseño en ingeniería mecánica de shigley*”, (Richard G. Budynas, 2012).

De la cantidad y calidad de la información con la que se cuenta sobre el proyecto a desarrollar se podrán presentar alternativas más acordes y acertadas para obtener los resultados deseados. El proceso de diseño inicia con identificar una necesidad que puede llegar a ser muy simple o muy compleja, con este reconocimiento se plantea una serie de pasos que se describen en la figura 30. (ver figura 30). El diseño previo sufre de varias modificaciones que se presentan tras muchos análisis y repeticiones de modelos del producto, esto lleva a refinar el diseño permitiendo reconocer limitaciones, tamaño, conveniencia de materiales, vida útil entre otras características que permiten calcular costos y eficacia del producto.

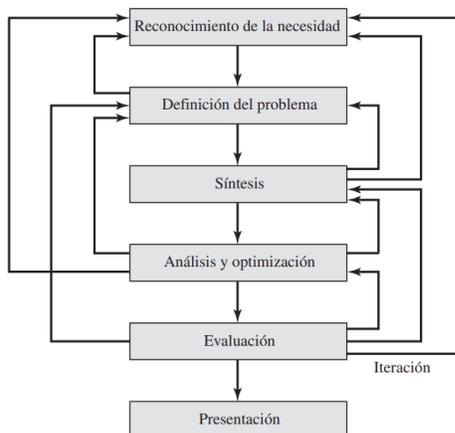


Figura 30. Esquema proceso de diseño. (Richard G. Budynas, 2012)

5.9.3 Equipo de ejercitación.

Los equipos diseñados para la realización de ejercicios en el fortalecimiento muscular, resultan ser una serie de adecuaciones mecánicas que incluyen correas, cadenas, bandas elásticas, poleas y cargas de masa de diversos pesos; las personas las utilizan de manera repetitiva para fortalecer músculos que dentro de sus rutinas diarias presentan baja actividad, también así, estos equipos son utilizados en procesos de rehabilitación física en lesiones musculares y articulares.

Fue en el siglo XIX, cuando el medico sueco, *Jonas Gustav Wilhelm Zander*, invento una serie de equipos que usaban sistemas de poleas y resortes para guiar el peso, (mundo, 2017) estas buscaban reproducir las actividades de la época como el uso de la bicicleta, remar, subir y bajar escaleras entre otros. (ver figura 31). Zander estimaba que sus creaciones mecánicas podrían subsanar enfermedades de orden muscular congénitas, así como por causa de accidentes laborales.

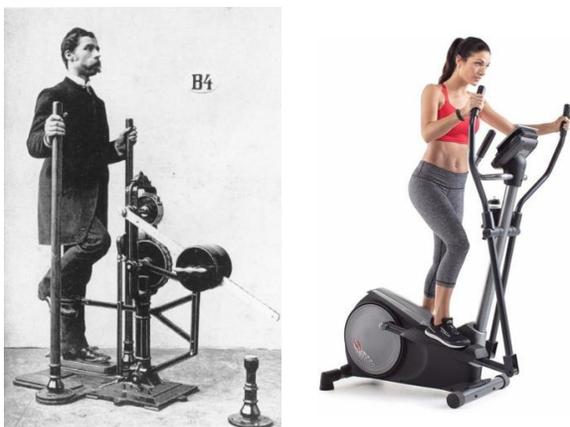


Figura 31. Evolución del diseño.

a) maquina caminadora de Zander, b) caminadora elíptica. a. (mundo, 2017) b. (Hernandez, 2022)

El empleo de estos equipos se impuso y continua en la actualidad bajo la figura de los GYM, donde la tecnología permitió que estos evolucionaran adaptando características ergonómicas, de seguimiento a señales fisiológicas entre otra

6 metodología.

Este capítulo presenta el enfoque del proyecto, la metodología que se adoptó y siguió para obtener el diseño de un equipo mecánico orientado al fortalecimiento de los músculos abdominales y lumbares, en pacientes con espondilolistesis Y lumbalgias. Se muestran los recursos utilizados en la búsqueda de la información en tres diferentes plataformas cuyas bases de datos abordan temas relacionados con el cuidado de la salud; así también el análisis que se realizó para integrar la información adquirida a conceptos de diseño y lograr visualizar el diseño primario y final del equipo de fortalecimiento muscular.

6.1 Enfoque del proyecto.

La presente investigación posee un enfoque *cualitativo* que permite la consulta y análisis de contenidos considerados relevantes para el desarrollo del diseño, posibilita clarificar las características funcionales, así como la viabilidad en su desarrollo y posterior presentación. Teniendo como población objetivo a pacientes con patologías lumbares cuyo tratamiento requiere fortalecimiento de los músculos asociados a esta región en particular.

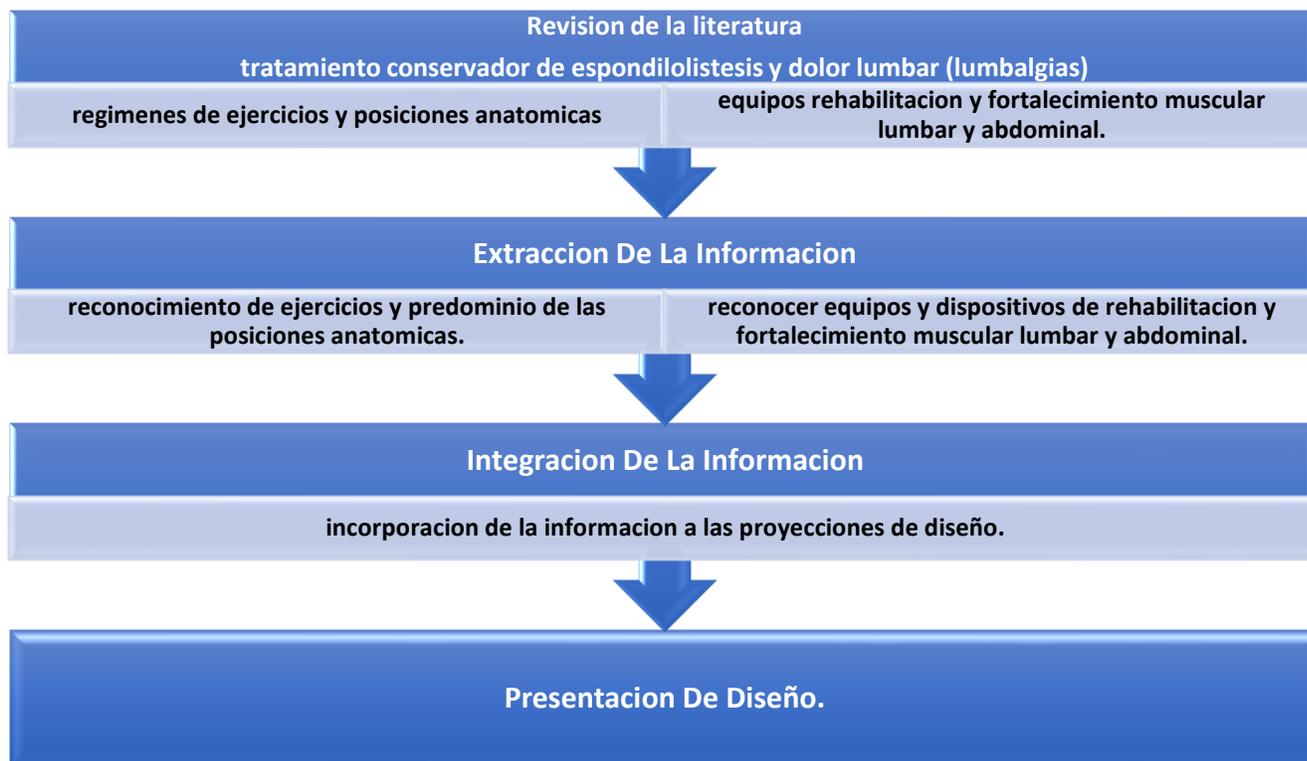
6.1.1 Método de investigación.

Análisis de contenido: se consultan estudios y artículos científicos presentes en 3 plataformas especializadas en ciencias de la salud cuyas bases de datos refieren tratamientos de carácter conservador y fisioterapéutico para lumbalgias y espondilolistesis.

De igual manera se realiza una búsqueda paralela en donde se indaga por tecnologías de asistencia utilizadas durante el proceso fisioterapéutico de la espondilolistesis previo al tratamiento quirúrgico; identificando recursos mecánicos destacados de manera positiva en el fortalecimiento

muscular de la región lumbar y abdominal permitiendo de esta manera obtener información relevante en la integración y desarrollo del diseño propuesto.

Tabla 11. Esquema metodológico desarrollado para el proyecto.



6.1.2 Plataformas y keywords empleadas.

Se consultaron bases de datos como: *pubmed* (National Library Of Medicine), *PEDro* (base de datos de fisioterapia basada en la evidencia), *Science Direct* (base de datos artículos de investigación, libros y revistas), sin restricción de idioma y cronológicamente delimitadas a investigaciones publicadas durante los últimos 10 años.

Palabras clave. (keywords): las siguientes palabras se utilizaron como descriptores en las cajas de búsqueda de las diferentes plataformas consultadas:

“lumbar spondylolisthesis”, *“conservative treatment”*, *“therapeutic exercise”*, *“physiotherapy”*, *“assistive technology”*, *“physical activity”*, *“flexion”*, *“extension”*, *“movement”*, *“restriction”*, *“devices”*, *“mechanical equipment”*, *“technological innovation”*.

6.1.3. Modelo de búsqueda:

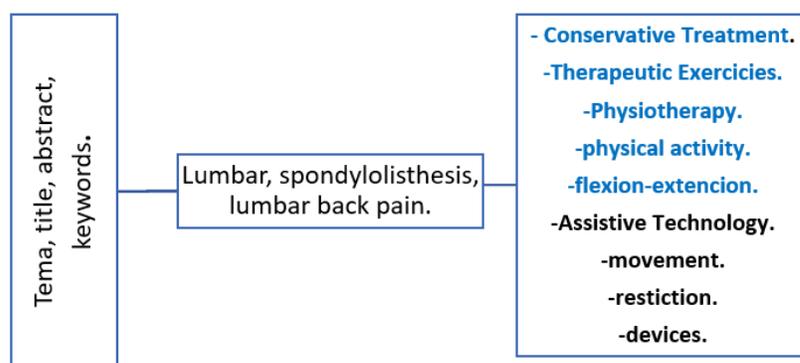


Tabla 12. Formula de búsqueda en bases de datos.

Se utilizo *texto de color azul* en la búsqueda de *tratamientos fisioterapéuticos* y regímenes de ejercicios sugeridos en los artículos. Simultáneamente la segunda búsqueda *en texto negro*, para *dispositivos o tecnologías de asistencia* en el tratamiento de lumbalgias y espondilolistesis.

[title – abstract – tema – keywords. (*lumbar spondylolisthesis* **AND** *conservative treatment* **OR** *therapeutic exercise* **OR** *physical activity* **OR** *physiotherapy* **OR** *flexion* **OR** *extension.*)] **AND**
 [title – abstract – tema – keywords. (*assistive technology* **OR** *movement* **OR** *restriction* **OR** *devices* **OR** *mechanical equipment* **OR** *technological innovation.*)]

6.2 Proceso de búsqueda conforme a cada una de las bases de datos:

En cada una de las plataformas consultadas y con diversas combinaciones, se describe:

- Artículos hallados en “*PubMed*.” utilizando de las keywords entregadas en el modelo de búsqueda para tratamientos físicos: “*lumbar spondylolisthesis, conservative treatment, etc.*”, se encontraron “9709” resultados; de los cuales “5455” cumplen con la delimitación de tiempo establecida. luego de utilizar los filtros disponibles: “full text, ensayo clínico, ensayo controlado aleatorizado, y publicados en los últimos 10 años”; permitió encontrar “357” artículos.
- Artículos hallados en “*PubMed*.” utilizando las keywords propuestas en el modelo de búsqueda para tecnologías asistenciales: “*assistive technology, lumbar spine, rehabilitation etc.*”, se encontraron “1088” resultados; de los cuales “565” cumplen con la delimitación del tiempo establecido. luego de utilizar los filtros disponibles: “full text, y publicados en los últimos 10 años”; este valor se redujo a “396” artículos.
- Artículos hallados en “*Scencedirect*.” utilizando las keywords propuestas en el modelo de búsqueda para tratamientos físicos: “*lumbar spondylolisthesis, physiotherapy etc.*”, se encontraron “34460” resultados; de los cuales “16587” cumplen con la delimitación de tiempo establecida. luego de utilizar los filtros disponibles: “artículos de investigación, áreas temáticas: medicina, enfermería y profesionales de la salud; acceso y archivo abierto, publicados en los últimos 10 años”; permitió encontrar “472” artículos.

- Artículos hallados en “*Sciencedirect.*” utilizando las keywords propuestas en el modelo de búsqueda para tecnologías de asistencia: “*mechanical equipment, lumbar spine, technology innovation*”, se encontraron “8477” resultados; de los cuales “3738” cumplen con la delimitación de tiempo establecida. luego de utilizar los filtros disponibles: “acceso abierto, artículos de investigación, áreas temáticas medicina, enfermería, profesionales de la salud, ingeniería y publicados en los últimos 10 años”; permitió encontrar “210” artículos.
- Artículos hallados en “*PEDro.*” utilizando las keywords propuestas en el modelo de búsqueda para tratamientos físicos: “*lumbar spondylolisthesis, treatment, physiotherapy etc.*”, se encontraron “66” resultados; de los cuales “42” artículos cumplen con la delimitación de tiempo establecida. luego de una *búsqueda sencilla*. donde la plataforma no ofrece algún tipo de filtrado posible; este valor de “42” artículos se conserva.
- Artículos hallados en “*PEDro.*” utilizando las keywords propuestas en el modelo de búsqueda para tecnologías de asistencia: “*mechanical device, lumbar spine, etc.*”, se encontraron “15” resultados; de los cuales “8” cumplen con la delimitación de tiempo establecida, luego de una *búsqueda sencilla*. donde no hay opciones de filtrado disponibles. la cantidad de “8” artículos se conserva.

6.2.1 tabla de artículos encontrados por plataformas para las dos consultas.

Tabla 13. Estrategia de búsqueda.

En texto azul: temáticas de tratamiento físico. Texto en negrilla: temáticas de tecnologías asistenciales.

Base de datos	Keywords utilizadas en caja de búsqueda	N° artículos	≤ 10 años	filtrados
PubMed.	<i>(“lumbar spondylolisthesis” [title/abstract] AND (“conservative treatment” [title/abstract] OR “therapeutic exercises” [title/abstract] OR “physiotherapy” [title/abstract] OR “physical activity” [title/abstract]) AND (“assistive technology” [title/abstract] OR “mechanical rehabilitation equipment” [title/abstract] OR “technological innovation” [title/abstract]). NOT (“surgery” [title/abstract] OR “cervical” [title/abstract] OR “fusion” [title/abstract] OR “graft” [title/abstract] OR “fixative” [title/abstract] OR “instrumentation” [title/abstract] OR “diagnostic imaging” [title/abstract] OR “invasive” [title/abstract]).</i>	9709. artículos, relacionados con “terapias físicas y rehabilitación” . 1088. artículos relacionados con “tecnologías” usadas en el tratamiento rehabilitador.	5455. Artículos 565. Artículos	357. Artículos 396. Artículos
ScienceDirect.	<i>Title, abstract, keywords: “lumbar spondylolisthesis” AND “therapeutic exercises” OR “physiotherapy” OR “physical activity” OR “conservative treatment” OR “decompression” OR “flexión” OR “extensión” AND “lumbar spondylolisthesis” AND “assistive technology” OR “mechanical rehabilitation equipment” OR “technological innovation” OR “assistive technology” OR “lumbar spine rehabilitation” OR “technologies physiotherapy” OR “assistive technologies, lumbar physiotherapy” OR “mechanical equipment, lumbar spine, rehabilitation”.</i>	34460. artículos, relacionados con “terapias físicas y rehabilitación” . 8477. artículos relacionados con “tecnologías” usadas en el tratamiento rehabilitador.	16587. Artículos 3738. Artículos	472. Artículos. 210. Artículos.
PEDro.	<i>Search terms, in simple search: “lumbar spondylolisthesis” AND “therapeutic exercises” OR “physiotherapy” OR “physical activity” OR “conservative treatment” OR “treatment physiotherapy” OR “exercises” OR “decompression” OR “flexion” OR “extensión” AND “assistive technology” OR “mechanical rehabilitation equipment” OR “technological innovation” OR “mechanical device” OR “assistive technologies, lumbar physiotherapy” OR “assistive technology, lumbar physiotherapy”.</i>	66. artículos, relacionados con “terapias físicas y rehabilitación” . 15. artículos relacionados con “tecnologías” usadas en el tratamiento rehabilitador.	42. Artículos 8. Artículos	42. Artículos. 8. Artículos.

6.3. Selección de estudios en tratamientos físicos y rehabilitación en espondilolistesis.

El proceso de investigación requirió efectuar dos exploraciones simultaneas en cada una de las bases de datos consultada, para así responder a los objetivos específicos planteados en el capítulo

3 de esta investigación. conforme a lo anterior esta primera búsqueda cuya temática hace referencia a *terapias físicas, regímenes de ejercicio, rehabilitación y fortalecimiento muscular de la región lumbar en espondilolistesis*, implicó la consulta de “**871**” artículos; aplicando los criterios de inclusión y exclusión, al igual que las palabras “reservadas” consignadas en la tabla N° 14 (*ver tabla 14*), pues estas direccionan la búsqueda a la evaluación de técnicas y dispositivos de uso quirúrgico; se lograron obtener “**7**” artículos finales. (*ver tabla 15*).

6.3.1 Criterios de inclusión:

- Estudios orientados al tratamiento conservador de la espondilolistesis.
- Estudios que describan o mencionen prácticas físicas de fortalecimiento muscular.
- Artículos cuyo texto completo o resumen definan prácticas físicas en el tratamiento de la espondilolistesis.
- Si los artículos proporcionan información sobre tecnologías de asistencia en el manejo terapéutico de la espondilolistesis.

Criterios de exclusión:

- Artículos donde la espondilolistesis sea tema secundario.
- Si los artículos poseen en sus títulos palabras que encaminan la investigación a evaluaciones de técnicas o instrumentación quirúrgica.
- Artículos en los que se considere el tratamiento quirúrgico como tratamiento para la espondilolistesis.

6.3.2 Listado de palabras reservadas.

Tabla 14. Palabras reservadas durante la búsqueda en los artículos consultados.

Palabras incluidas en los títulos de los artículos que reservan su consulta.
<i>Artroplastia; cirugía; descompresión quirúrgica; descompresión y fusion; discectomía; endoscopia; Fijadores externos.</i>
<i>Fusion intersomática; fusion posterolateral (PLIF); Fusion transforaminal (TLIF).</i>
<i>Imágenes diagnosticas; infiltraciones, injerto óseo; instrumentación lumbar; intervencionista; invasiva, jaula de fusion.</i>
<i>Laminectomía; mínimamente invasiva; movilización; percutáneos; resonancia; tratamiento quirúrgico.</i>

6.3.3 Artículos seleccionados para su análisis en tratamientos físicos y rehabilitación.

Tabla 15. Artículos seleccionados para la extracción de la información en temáticas de rehabilitación física.

Año publicación	Título de la investigación incluida	Autor	Plataforma de búsqueda	Tipo de artículo
2022.	<u><i>Manejo de la espondilólisis lumbar en el deportista adolescente: revisión de más de 200 casos.</i></u>	Jeffrey H. Choi MD a, Jonathan K. Ochoa MD a, Ariadna Lubinus (otros)	ScienceDirect.	Estudio clínico.
2021.	<u><i>Ejercicios de estabilización versus ejercicios de flexión en la espondilolistesis degenerativa: un ensayo controlado aleatorio.</i></u>	Tania Inés Nava-Bringas TI, (otros)	Pubmed.	Ensayo controlado aleatorizado.
2021.	<u><i>Espondilolistesis lumbar: estado del arte en evaluación y tratamiento conservador.</i></u>	Carla Vanti, I Silvano Ferrari, I Andrew A. Guccione (otros)	Pubmed.	Arco fisioterapeuta.
2019.	<u><i>programa de educación del paciente en el tratamiento del dolor lumbar crónico entre adultos que viven en la comunidad en zonas rurales de Nigeria: un protocolo de estudio para un ensayo clínico aleatorizado.</i></u>	Aminu IbrahimMukadas AkindeleSokunbi A. O. O. (otros).	ScienceDirect.	Ensayo clínico aleatorizado.
2016.	<u><i>Manejo de la estenosis espinal lumbar.</i></u>	Jon Lurie, Christy Tomkins-Lane.	Pubmed.	Revisión del estado del arte.
2014.	<u><i>Efectos de un programa de ejercicios de estabilización en la funcionalidad y el dolor en pacientes con espondilolistesis degenerativa.</i></u>	Tania Inés Nava-Bringas I, Mario Hernández-López	Pubmed.	Ensayo clínico.
2013.	<u><i>Tratamiento no quirúrgico en espondilólisis lumbar y espondilolistesis: una revisión sistemática.</i></u>	Matthew Gareth, Michael P. Reiman, Jessie Mathers, Jonathan Sylvain.	Pubmed.	Revisión sistemática.

6.3.4 Diagrama de filtrado y separación de los artículos en tratamientos físicos.

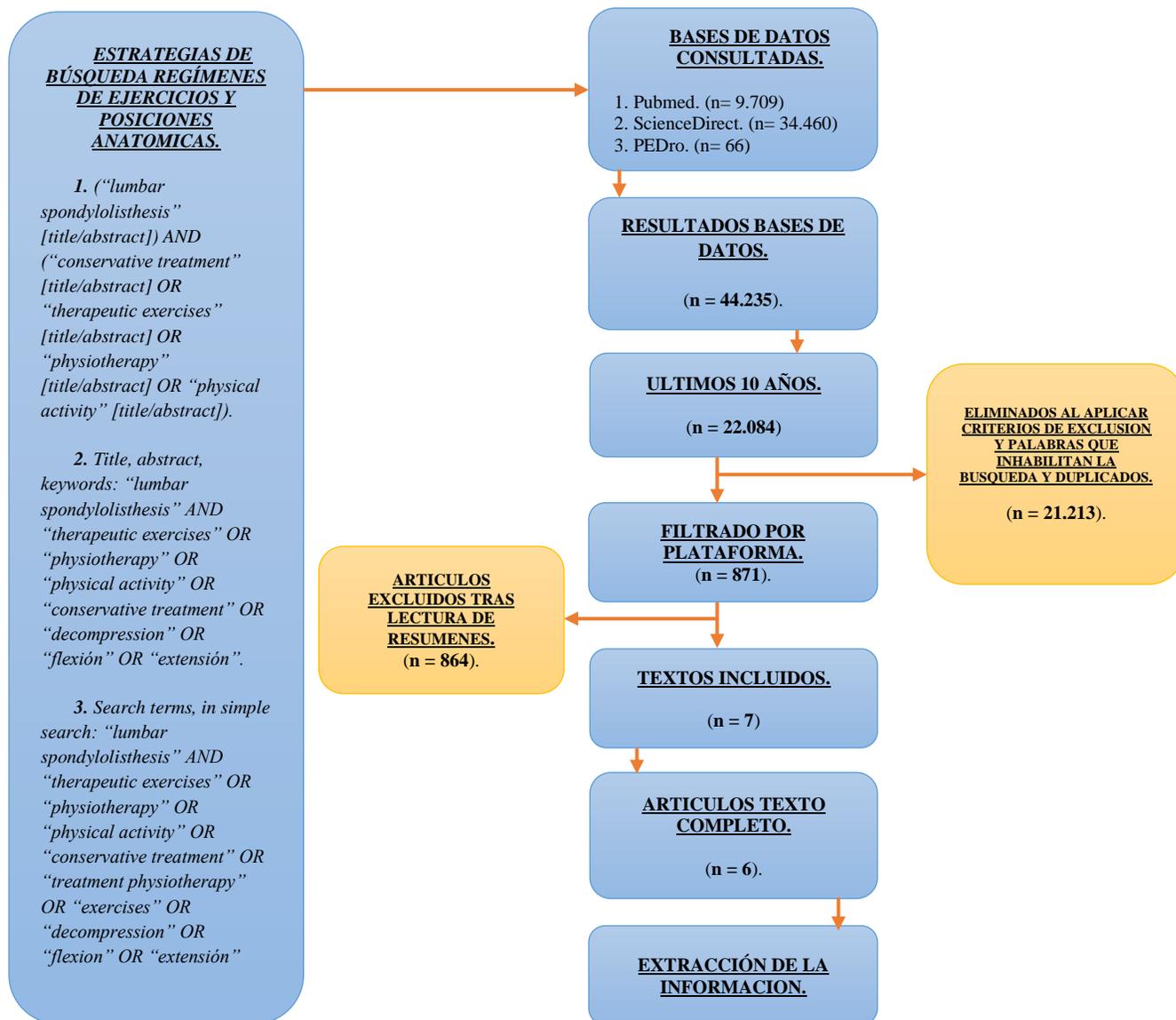


Tabla 16. Diagrama de filtrado y selección de artículos para ejercicios y posiciones anatómicas.

6.4 Análisis de la información, tema 1 “requerimientos anatómicos y funcionales”.

Conforme al orden fechado en la anterior tabla N° 15, de manera decreciente se evidencian 7 artículos incluidos así: 1 estudio clínico; 2 ensayos controlados aleatorizados; 1 arco fisioterapeuta; 2 revisiones y 1 ensayo clínico.

El primer (1) artículo titulado *“manejo de la espondilólisis lumbar en el deportista adolescente: revisión de más de 200 casos”*; compila técnicas terapéuticas en el tratamiento de la **espondilólisis**, condición inicial previa al desplazamiento vertebral (listesis) que origina la espondilolistesis; este estudio describe como parte del tratamiento conservador el cese de actividades deportivas, el uso de ortesis restrictivas, así como de estimuladores óseos por un periodo de tiempo de 3 meses, tiempo en el que se evaluó la reparación ósea y se inicia protocolo de fortalecimiento muscular. El esquema de ejercicios utilizado durante el estudio se denomina fortalecimiento del “CORE” rutina de ejercicios isométricos que propone activación de los músculos abdominales sin la movilización amplia de las articulaciones vertebrales, permitiendo desarrollar fuerza y tonificar los músculos superficiales y profundos del abdomen, dentro de estos encontramos ejercicios de activación del Core: nadador (*decúbito supino*), puente (*decúbito supino*), planchas altas y bajas con y sin progresiones (*decúbito prono*), planchas laterales (*decúbito lateral*), abdominal baja o parcial (*decúbito supino*). *el estudio clínico presenta este régimen de ejercicios sin adoptar una técnica en particular como la mejor o la más recomendada en el tratamiento terapéutico para la espondilólisis.*

El segundo (2), artículo nombrado: *“ejercicios de estabilización versus ejercicios de flexión en la espondilolistesis degenerativa: un ensayo controlado aleatorio”*. Presenta una evaluación de dos sistemas de ejercicios, el primero conocido como “de estabilización lumbar” comparado contra los “ejercicios de flexión de Williams”; esta evaluación busca establecer cuál de las dos

técnicas es más efectiva en cuanto a mejorar el dolor y la recuperación funcional durante el tratamiento fisioterapéutico de la espondilolistesis degenerativa; los ejercicios de estabilización lumbar recuperan rutinas del programa de fortalecimiento del “CORE” como: abdominales parciales (*supino*), planchas, puente anterior o glúteo (*supino*) y puente lateral (*decúbito lateral*), elevación alterna de extremidades (*cuadrúpedo*). Mientras que los ejercicios de flexión de Williams destacan por favorecer la flexión de la región lumbar mediante ejercicios como: la inclinación pélvica (*decúbito supino*), flexión de rodilla hacia el pecho (*decúbito supino*), abdominales parciales (*decúbito supino*) y estiramiento de isquiotibiales (*sedestación, decúbito supino*); de acuerdo a los hallazgos por parte de los autores, los ejercicios de flexión de Williams ofrecen resultados similares a los ejercicios de estabilización lumbar y no son inferiores respecto a estos.

El tercer (3) artículo es un arco fisioterapeuta titulado **“espondilolistesis lumbar: estado del arte en evaluación y tratamiento conservador”**. Compendio de información jerarquizada sobre el diagnóstico, abordaje y tratamiento conservador de la espondilolistesis; prácticas de ejercitación incluidas por varios autores dentro de sus respectivas investigaciones, destacando el modelo de entrenamiento de O’Sullivan el cual refuerza la presencia de rutinas como la inclinación pélvica (*supino*) (que propone la contracción y relajación de los músculos lumbares), puente anterior y puente anterior con progresiones (*supino*) (rangos de movimiento de extremidades superiores e inferiores que proporcionan dificultad y exigencia la ejercicio), estiramientos tipo gato (*cuadrúpedo*), estiramiento de espalda en posición de mahometano (de rodillas, glúteos sobre los talones, se inclina el tronco hacia adelante con los brazos extendidos y se realiza el estiramiento), de acuerdo con las capacidades del paciente. mediante estos ejercicios se busca mejorar la fuerza, la coordinación y el equilibrio valiéndose de dispositivos propioceptivos como pelotas suizas y

plataformas oscilantes. Concluyen los autores, que un tratamiento integral que incluya manejo del dolor, regímenes de ejercicio supervisado y autónomo, así como mantener un buen estado físico en general le permitirá mejorar su condición. *Los autores declaran que la información consultada en la literatura centra sus investigaciones en las “propiedades métricas de las pruebas” por lo tanto no poseen los suficientes datos, que les permitan sugerir una técnica clínica como la mejor.*

El cuarto (4) artículo titulado: ***“programa de educación del paciente en el tratamiento del dolor lumbar crónico entre adultos que viven en la comunidad en zonas rurales de Nigeria: un protocolo de estudio para un ensayo clínico aleatorizado”***. Es un ensayo controlado aleatorizado que busca evaluar los beneficios de capacitar a los pacientes en el desarrollo y ejecución de rutinas de ejercicios de control motor también conocidos como ejercicios de estabilización de la columna; se desarrolló en 3 etapas, en la primera el paciente recibió educación sobre las posiciones anatómicas así como la función de los músculos específicos del tronco, se realizaron **rutinas de contracción abdominal (CA)** también utilizadas en los artículos 1 y 2 pero con diferente denominación (*inclinación pélvica y abdominal parcial*) utilizando **posiciones anatómicas supina, cuadrúpedo, sedestación y bipedestación**; la segunda etapa mantiene las rutinas de contracción abdominal e incluye variaciones posturales y de esfuerzo en las mismas como: **CA en decúbito supino con puente y puente mono podal, CA en decúbito supino curl-up con brazo extendido hacia las rodillas, CA en apoyo lateral (puente) con rodilla flexionadas y rectas, CA en cuadrúpedo con elevación alterna de brazos y piernas, involucrando músculos del tronco superficiales y profundos (cuadrúpedo), (multífido lumbar, transverso del abdomen)**. En el desarrollo de la tercera etapa se continuó ejecutando la contracción abdominal mientras se realizan actividades como la **transferencia en bipedestación (cambio alternado del apoyo del peso corporal sobre cada una de las piernas. bipedestación) y caminatas de 7 segundos** mientras se sostiene una contracción

abdominal (CA) realizando 10 repeticiones. *En el apartado nombrado como diseminación, resalta que los resultados del ensayo se darán a conocer por medio de una publicación científica arbitrada.*

Los artículos 5 y 7 posicionados en la anterior tabla 14, son revisiones del estado del arte y sistemática respectivamente, tituladas conservando su orden (5) ***“manejo de la estenosis espinal lumbar.”*** Y (7) ***“tratamiento no quirúrgico en espondilólisis lumbar y espondilolistesis: una revisión sistemática.”*** La primera define la estenosis lumbar como el estrechamiento del canal medular que puede comprimir nervios presentes en la región lumbar como el nervio ciático, asimismo esclarece la “claudicación neurogénica” como la imposibilidad de mantener posturas como la bipedestación o la marcha por periodos de tiempo prolongados; los autores encontraron en esta revisión ejercicios que destacan y son habituales en investigaciones de la columna vertebral, entre estas se comparten: ejercicios aeróbicos para desarrollar fuerza y flexibilidad (*inclinación pélvica, supino*), ejercicios de flexión lumbar (*abdominal parcial, supino*), caminata en cinta rodante (*marcha*), entrenamiento de equilibrio (*abdominales en plancha baja, prono sostenido*) y entrenamiento de coordinación muscular (*elevación alterna de extremidades, cuadrúpedo sostenido*). De igual manera el artículo número 7 ***“tratamiento no quirúrgico en espondilólisis lumbar y espondilolistesis: una revisión sistemática.”*** Realiza una exploración de estudios previos en el tratamiento conservador de la espondilólisis y la espondilolistesis; al igual que en otras revisiones, esta ratifica la limitada cantidad de investigaciones que abordan los tratamientos de carácter fisioterapéutico, en comparación con aquellos dedicados a procesos quirúrgicos; aseguran que por lo general *“están mal definidos y sufren de sesgo”*. Encontraron que los ejercicios en los que se realiza flexión de la región lumbar (*abdominales parciales, inclinación*

pélvica. supino), fortalecimiento de los músculos abdominales (*abdominales, basculación pélvica. supino*) y lumbares específicos son habituales en los documentos consultados.

El artículo ubicado en la posición número 6 de la anterior tabla número 15, cuyo título es ***“efectos de un programa de ejercicios de estabilización en la funcionalidad y el dolor en pacientes con espondilolistesis degenerativa”*** es un ensayo clínico cuyo objetivo es determinar los efectos del ejercicio en el dolor y la función, en pacientes con espondilolistesis degenerativa en el cual participaron 20 pacientes mayores de 50 años que se sometieron a un programa de ejercicios de estabilización por un periodo de tiempo de 6 meses, en el ensayo se menciona pero no se profundiza en las rutinas que hacen parte de este régimen de ejercicios; es así que al consultar por medio de motores de búsqueda en internet, uno de los mismos autores publicó un documento en paralelo a este, titulado *“ejercicios de estabilización lumbar”*, en donde se detalla cada tipo de ejercicio que conforma esta rutina y la forma correcta de practicarlos, estos son: 1) *control del transverso del abdomen, (inclinación pélvica, decúbito supino)*, 2) *elevación alterna de extremidades (cuadrúpedo)*, 3) *ejercicio de puente anterior (elevación decúbito supino sostenido)*, 4) *puente anterior con elevación alterna de pierna (elevación decúbito supino sostenido)*, 5) *puente lateral con apoyo de pierna y brazo (elevación decúbito lateral sostenido)*, 6) *puente lateral con apoyo de pies (elevación decúbito lateral sostenido)*. Este tipo de ejercicios se indican de acuerdo a factores que afecten al paciente como lo pueden ser: la edad, comorbilidades, causas de la lesión, capacidad de recuperación, así como sus actividades. *Los autores declaran que este tipo de ejercicios puede ser una alternativa eficaz en el tratamiento del dolor y mejora de la función en pacientes con espondilolistesis degenerativa. Sin embargo, aclaran que se requieren de más ensayos controlados que permitan contrastar y confirmar sus resultados.*

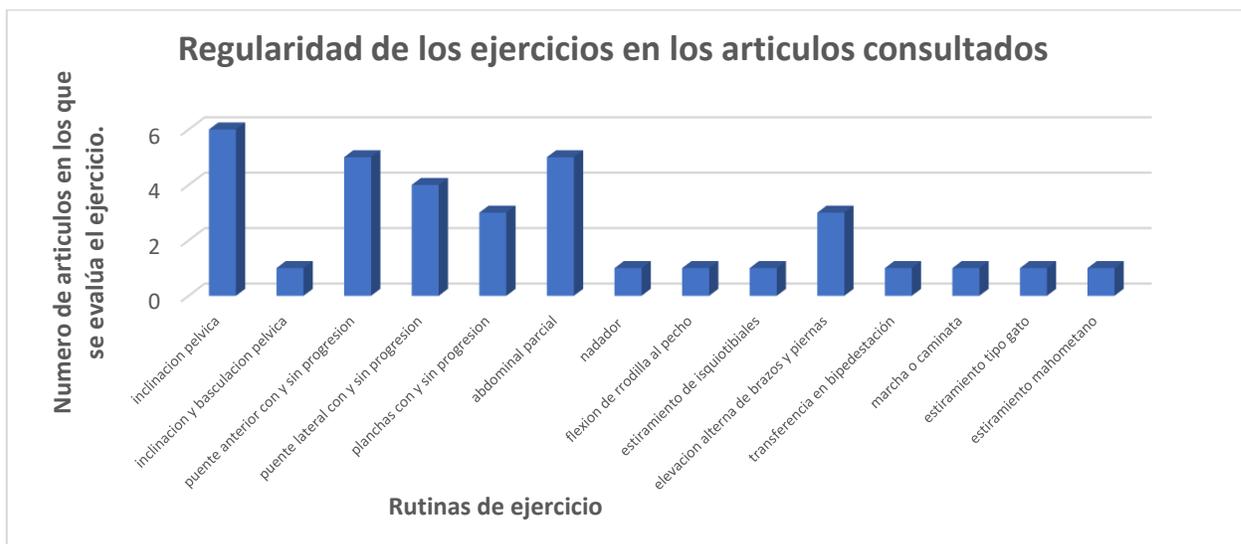
6.4.1 Extracción de la información “caracterización de ejercicios y reconocimiento de posiciones anatómicas”.

De acuerdo a la información requerida en los objetivos específicos (apartado 3.2) para consolidar los detalles en la conceptualización de un diseño que permita la visualización de un equipo de ejercitación para los músculos lumbares y abdominales en pacientes con espondilolistesis y lumbalgias crónicas o inespecíficas, se obtuvo la siguiente información:

De los 7 artículos elegidos para su análisis, se pueden señalar prácticas habituales de ejercicio que predominan durante el tratamiento fisioterapéutico representados en la siguiente tabla número 17. (ver tabla N° 17).

Tabla 17. Frecuencia de las rutinas de ejercicio presentes en los estudios consultados.

inclinación pélvica	inclinación y basculación pélvica	punte anterior con y sin progresión	punte lateral con y sin progresión	planchas con y sin progresión	abdominal parcial	nadador	flexión de rodilla al pecho	estiramiento de isquiotibiales	elevación alterna de brazos y piernas	transferencia en bipedestación	marcha o caminata	estiramiento tipo gato	estiramiento mahometano
6	1	5	4	3	5	1	1	1	3	1	1	1	1



En la cual se registra la frecuencia de un patrón de ejercicios evaluado dentro de la totalidad de investigaciones seleccionadas (7 artículos); se puede apreciar como la inclinación pélvica es la

rutina con mayor presencia en los estudios examinados, de igual manera los datos sugieren que rutinas como las abdominales parciales y el puente anterior, tienen una relevancia significativa dentro de los programas de ejercitación establecidos en cada una de las publicaciones analizadas en cuanto a las patologías objeto de estudio. Acorde al gráfico, el puente lateral es también un ejercicio presente en 4 de los 7 estudios; las planchas con y sin progresión, al igual que la elevación alterna de extremidades se ubican por debajo de la media, participando en 3 de los 7 artículos. Las técnicas restantes se integran a las investigaciones de manera aleatoria, siendo adoptadas en por lo menos (1) uno de los textos.

“*La inclinación pélvica*”, rutina que se sitúa como la más destacada dentro de los estudios examinados se caracteriza por accionar durante su ejecución, músculos abdominales profundos como el transversal abdominal y oblicuos internos, al mismo tiempo que incorpora los multifidos lumbares mediante la contracción y reducción sostenida del abdomen; la técnica de entrenamiento busca fortalecer estos grupos musculares y proporcionar estabilidad a la región anterior del segmento lumbar, contrarrestando la hiperlordosis consecuencia del deslizamiento vertebral característico de la espondilolistesis.

Considerando los regímenes que son citados en cinco de los siete documentos encontramos las “*abdominales parciales*” rutina que de forma similar a la inclinación pélvica ejercita los músculos abdominales profundos, integrando además los externos: recto del abdomen y oblicuos externos, conjuntamente los músculos paravertebrales ubicados a lo largo de la columna; la técnica de activación de estos músculos, mediante las abdominales parciales se obtiene al recostarse boca arriba (supino) con las rodillas flexionadas, los pies planos en el suelo, cruzar los brazos sobre el pecho, llevar el mentón hacia el pecho, activar o contraer el abdomen llevando el ombligo hacia la columna y levantar los hombros del suelo, elevando la espalda progresivamente sin llegar a

completar la abdominal, sosteniendo este esfuerzo por unos segundos y volviendo a la posición inicial. Similar posición ocupa en la gráfica el “*punte anterior con y sin progresiones*” rutina que permite tonificar los músculos isquiotibiales, glúteo mayor, cuadrado lumbar, erectores de la columna y el transversal abdominal; su ejecución describe la posición supina con las rodillas flexionadas, pies planos en el suelo y separados al ancho de los hombros, brazos descansando a los costados con las palmas de las manos en el suelo, se elevan lentamente del suelo las caderas a la vez que se activa el Core (musculatura abdominal) y se contraen los glúteos, se conserva esta postura y el esfuerzo por unos segundos y retorna a la posición inicial.

De acuerdo a la relevancia otorgada a los ejercicios en la anterior tabla N° 17, donde destacan rutinas por su alta permanencia dentro de los artículos analizados, se puede inferir que ejercicios como la inclinación pélvica, abdominales parciales y puente anterior con y sin progresiones, priorizan la activación y fortalecimiento de los músculos abdominales y lumbares asociados a las diferentes dinámicas de movimiento de la región lumbar, con el objetivo de robustecerlos, brindando soporte y estabilidad a este segmento de la columna vertebral, disminuyendo así la sensación de dolor y dotando a los diferentes grupos musculares abdominales y lumbares de fuerza, elasticidad y resistencia; permitiendo recuperar la capacidad funcional perdida a consecuencia de la espondilolistesis y lumbalgias crónicas o inespecíficas. (de acuerdo a nivel de desplazamiento en el caso de la espondilolistesis y presencia de dolor.)

Cabe destacar que tanto la inclinación pélvica como las abdominales parciales incluyen dentro de su realización, maniobras delicadas de flexión controlada cuya progresión determina la disminución de la curvatura lordótica del segmento lumbar durante el desarrollo del ejercicio; esto gracias a la posición anatómica en decúbito supino con la que se realiza.

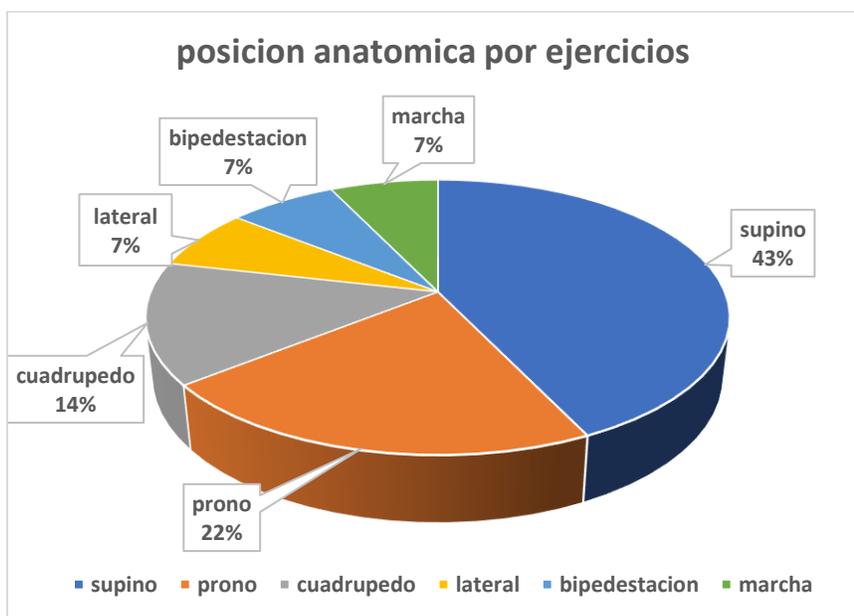
6.4.2 Posiciones anatómicas.

Gracias a la información obtenida acerca de los ejercicios se logró desarrollar una gráfica en la que se reconocen las principales posiciones anatómicas de los distintos regímenes de ejercicios propuestos para su estudio, en los diferentes artículos analizados en la presente investigación. (*ver anterior tabla 17*). en esta se demuestra que la posición anatómica decúbito supino está involucrada en el 43% de las actividades de ejercitación muscular analizadas en los artículos seleccionados que representan 6 de los ejercicios analizados; Seguida de la posición anatómica decúbito prono presente en 3 de los ejercicios analizados y representa el 22% del total de los ejercicios examinados.

La posición anatómica cuadrúpeda representa el 14% de los ejercicios con dos de las rutinas de ejercicio expuestas en los estudios examinados, por último, se ubican tres ejercicios que representan una posición anatómica diferente representando cada uno, un 7% en la totalidad de posiciones anatómicas reconocidas en el análisis de los diferentes estudios y representadas en la tabla número 18. (*ver tabla N° 18*).

Tabla 18. Gráfica, posiciones anatómicas y ejercicios predominantes en estudios previos.

inclinación pélvica	supino
inclinación y basculación pélvica	supino
puente anterior con y sin progresión	supino
puente lateral con y sin progresión	lateral
planchas con y sin progresión	prono
abdominal parcial	supino
nadador	prono
flexión de rodilla al pecho	supino
estiramiento de isquiotibiales	supino
elevación alterna de brazos y piernas	cuadrúpedo
transferencia en bipedestación	bipedestación
marcha o caminata	marcha
estiramiento tipo gato	cuadrúpedo
estiramiento mahometano	prono



6.5 Selección de estudios tecnologías asistenciales.

En este segundo análisis se evaluaron “621” artículos relacionados con el uso de “*tecnologías de apoyo asistencial en rehabilitación y fortalecimiento muscular lumbar y abdominal*” publicados en las plataformas seleccionadas para su consulta durante los últimos 10 años y expuestos en la anterior tabla N° 13. (ver tabla anterior N° 13); luego de eliminar los artículos duplicados y aplicar los criterios de inclusión y exclusión se lograron seleccionar “**6**” artículos en esta búsqueda paralela.

6.5.1 criterios de inclusión.

Criterios de inclusión:

- Estudios que describan equipos o dispositivos usados en el tratamiento rehabilitador y de fortalecimiento muscular en patologías lumbares, priorizando afecciones como espondilolistesis y lumbalgias.
- Estudios publicados durante los últimos 10 años.
- Publicaciones que posean texto completo o cuyos resúmenes ofrezcan claridad sobre el equipo o dispositivo objeto del estudio.

Criterios de exclusión:

- Artículos en los que los avances o tecnologías descritas no se relacionen con el tratamiento rehabilitador de la columna.
- Investigaciones cuyo tema explore avances tecnológicos en dispositivos o equipos destinados al uso quirúrgico de la columna vertebral.
- Documentos en donde las tecnologías analizadas están destinadas a suplir habilidades del paciente y no a su rehabilitación.

6.5.2 artículos seleccionados para su análisis.

Tabla 19. Estudios seleccionados para la extracción de la información en uso de tecnologías de rehabilitación.

Artículos incluidos en la búsqueda cuyo tema refiere al uso de tecnologías asistenciales en el tratamiento rehabilitador y de fortalecimiento muscular de la región lumbar.

Año publicación	Título de la investigación incluida.	Autor.	Plataforma de búsqueda.	Tipo de artículo.
2022.	<u>Efectos de la terapia de descompresión no quirúrgica además de la fisioterapia de rutina sobre el dolor, la amplitud de movimiento, la resistencia, la discapacidad funcional y la calidad de vida versus la fisioterapia de rutina sola en pacientes con radiculopatía lumbar; un ensayo controlado aleatorio.</u>	fareeha amjad, Mohammad A Mohseni-Bandpei, Syed Amir Gilani, Ashfaq Ahmad, asif hanif.	pubmed	Ensayo controlado aleatorizado.
2021.	<u>Efecto inmediato de la tracción lumbar mecánica en pacientes con dolor lumbar crónico: un ensayo controlado aleatorizado cruzado, de medidas repetidas.</u>	Hideki Tanabe, masami akai, Tokuhide Doi, Sadao Arai, Keiji Fujino, Kunihiko Hayashi.	ScienceDirect.	Ensayo controlado aleatorizado.
2020.	<u>Eficacia del ejercicio de fortalecimiento de los músculos del tronco abdominal utilizando un dispositivo innovador en el tratamiento del dolor lumbar crónico: un ensayo clínico controlado.</u>	Ryo Kitagawa; satoshi kato; satoru demura; yuki kurokawa; kazuya shinmura; Noriaki Yokogawa; Noritaka Yonezawa. (otros)	Pubmed.	Ensayo clínico.
2017.	<u>Diseño y modelado computacional de un ensamblaje robótico modular compatible para la unidad lumbar humana y la asistencia de la médula espinal.</u>	Agarwal G, Robertson MA, Sonar H, Paik J.	Pubmed.	Reporte científico.
2016.	<u>comparación de la actividad muscular del tronco y de las extremidades inferiores entre cuatro dispositivos de equipo estático: bicicleta vertical, bicicleta reclinada, cinta de correr y "elíptico".</u>	Lucinda Bouillon, PT, PhD; Ryan Baker; PTA, SPT, Chris Gibson; PTA, SPT, Andrew Kearney, PTA, SPT, y Tommy Busemeyer.	Pubmed.	Estudio científico.
2016.	<u>Aumento de la fuerza del estabilizador escapular y los músculos lumbares después de doce semanas de entrenamiento de Pilates con la máquina "Reformer": un estudio piloto.</u>	Nubia Tomain Otoni Dos Santos 1, Karoline Cipriano Raimundo 2, Sheila Aparecida da Silva 3, Lara Andrade Souza 2, Karoline Carregal Ferreira 4, Zuleika Ferreira Borges Santo Urbano 5, Andrea Licre Pessina Gasparini 2, Dernalva Bertonecello.	Pubmed.	Ensayo controlado aleatorizado.

6.5.3 diagrama de filtrado y separación de los artículos.

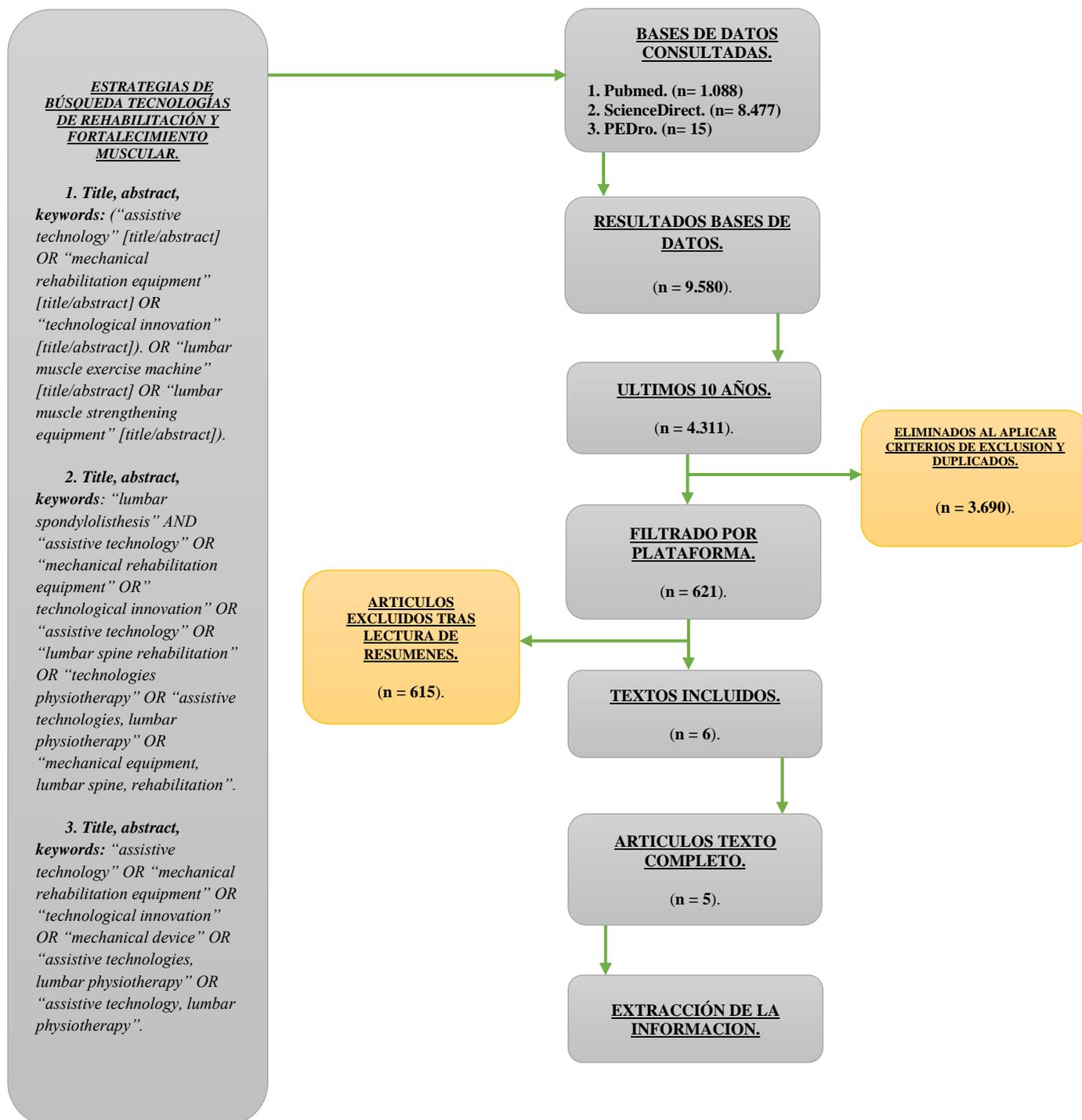


Tabla 20. Diagrama de filtrado y selección de artículos para tecnologías asistenciales.

6.6 análisis de la información “tecnologías asistenciales en rehabilitación y fortalecimiento muscular lumbar y abdominal”

Conforme al orden fechado en la anterior tabla N° 19 de, se evidencian 6 artículos incluidos así: 3 ensayos controlados aleatorizados; 1 ensayo clínico; 1 reporte científico y 1 estudio científico.

Se examinan los tres artículos “*ensayos controlados aleatorizados*” en orden fechado en la anterior tabla N°18, corresponden a los lugares 1,2, y 6 de manera decreciente. El primero (1°) fechado en el año 2022 titulado: “*efectos de la terapia de descompresión no quirúrgica además de la fisioterapia de rutina sobre el dolor, la amplitud de movimiento, la resistencia, la discapacidad funcional y la calidad de vida Vs la fisioterapia de rutina sola en pacientes con radiculopatía lumbar; un ensayo controlado aleatorizado*”. El objetivo del ensayo fue determinar los efectos de la terapia NSD (descompresión espinal no quirúrgica), esta terapia basa su tratamiento en la descompresión vertebral por medio de una *mesa de tracción computarizada llamada SPINE MT (shinhwa medical, gimhae, corea)* la cual se caracteriza por ser similar a una cama fraccionada en dos partes, superior e inferior de la cual la porción inferior genera el movimiento de separación respecto a la superior; realiza el movimiento ejerciendo fuerza de tracción controlada sobre la región lumbar en este proceso se puede ajustar: la tensión, tiempo de tracción, nivel del disco que presenta hernia y ángulo de inclinación de la zona pélvica de 15 y 10 grados, *este método de tratamiento está indicado en lumbalgias y hernias de disco; las pruebas excluyeron a pacientes con espondilolistesis por lo cual no se tienen datos sobre el uso de este equipo en pacientes con espondilolistesis.*

El segundo (2°) ensayo controlado titulado: ***“efecto inmediato de la tracción lumbar mecánica en pacientes con dolor lumbar crónico: un ensayo controlado aleatorizado, de medidas repetidas”***. Pone a prueba la tracción como método terapéutico en atención al dolor lumbar; este estudio ***evalúa para tal fin, dos tipos de sillas de tracción*** presentes en el mercado, estas se caracterizan por separar mecánicamente la parte superior de la inferior. La tracción se realiza cuando la silla se reclina hasta conseguir una posición horizontal; en consecuencia, el usuario adopta posición supina con las rodillas flexionadas, resultado de la posición en sedestación inicial. Además, un modelo de las sillas ofrece un efecto vibratorio en la espalda mientras que la segunda silla no lo posee, (MINATO Medical Science, ST-2L/2CL & OG Wellness Technologies, OL-6500/6000). *Los autores concluyen que la tracción puede proporcionar un alivio inmediato a la sensación de dolor. De igual manera, el ensayo brinda evidencia eficaz de la tracción lumbar.*

El sexto (6°) estudio aleatorio, último en la tabla se titula: **“aumento de la fuerza del estabilizador escapular y los músculos lumbares después de doce semanas de entrenamiento de pilates con la maquina Reformer: un estudio piloto”**. El artículo evalúa la capacidad muscular del elevador escapular y músculos lumbares, antes y después de utilizar un mecanismo llamado **“Reformer”** este equipo pensado para entrenamiento tipo pilates, se caracteriza estructuralmente por ser muy parecido a una cama, en donde los travesaños laterales soportan un carro acolchado que se desplaza valiéndose de rodamientos y un juego de resortes que generan resistencia durante el desplazamiento, este carro recibe al usuario en diversas posiciones, también en un extremo se ubica una barra ajustable para apoyar los pies y en el otro extremo se anclan unas poleas que se sujetan al cabezal del carro que será impulsado por el mismo usuario de acuerdo a los grupos musculares que se desee ejercitar. *Los autores concluyen que después de 12 sesiones de pilates utilizando el “Reformer” por medio de rutinas que no son especificadas dentro del artículo,*

demonstraron que hubo mejoras en cuanto a la fuerza estabilizadora de los extensores lumbares y escapulares; además declaran que la evidencia científica es limitada en cuanto a la mejora de la fuerza del tronco y extremidades luego de cumplir con la técnica.

Ubicado en la tercera (3ra) fila de la tabla se encuentra un ensayo clínico titulado: **“eficacia del ejercicio de fortalecimiento de los músculos del tronco abdominal utilizando un dispositivo innovador en tratamiento del dolor lumbar crónico: un ensayo clínico controlado”**. el ensayo clínico propone la evaluación de un dispositivo de ejercitación de los músculos abdominales mediante un mecanismo similar a ***un esfigmomanómetro llamado RECORE*** que proporciona una cantidad de aire a la cámara contenedora al interior de un cinturón que se ubica alrededor del abdomen, con la ayuda de un manómetro mecánico se puede medir la presión inicial o de referencia aplicada sobre el abdomen por el paciente y desde ahí el paciente ubicado en sedestación ejerce máxima fuerza de contracción sobre los músculos abdominales, en consecuencia la presión existente en el cinturón se eleva obteniendo un valor pico de presión, estos valores son registrados por el manómetro y presentados por el equipo mediante su interfaz gráfica; la diferencia entre el valor de referencia y el valor pico, es el resultado del valor de fuerza muscular medido en Kpa. *Los autores concluyen que el uso del dispositivo fue efectivo para mejorar el dolor lumbar de acuerdo a la escala de calificación numérica (NRS, numerical rating scale) del dolor lumbar crónico (CLBP) mejorar la fuerza de los músculos abdominales y la calidad de vida del paciente; afirman que el programa denominado “ejercicio de estabilización lumbar bajo presión” mediante el dispositivo presentado es eficaz en el tratamiento del dolor lumbar crónico.*

En la cuarta (4ta) posición se encuentra un reporte científico titulado **“diseño y modelado computacional de un ensamblaje robótico modular compatible para la unidad lumbar humana y la asistencia de la médula espinal”**. El reporte, propone un dispositivo robótico destinado a

conceder estabilidad a la región lumbar en casos de lesiones medulares, compresión nerviosas, debilidad facetaria, osificación de ligamentos, fusiones articulares, osteoporosis entre otras patologías que generan inestabilidad lumbar, la propuesta utiliza una tecnología conocida como **“robótica blanda”** la cual basa sus sistemas de control en actuadores neumáticos que permiten dirigir por medio de mangueras reforzadas un flujo de aire de presión negativa que satura un *módulo conocido como V-SPA* que contiene en su interior espuma de poliuretano sellada en su exterior con tipo de caucho fundido conocido como *elastosil*; esta estructura semeja una vértebra que luego de ser sometida a diferentes pruebas de control, se encontró que esta tecnología asume de manera satisfactoria los movimientos programados que emulan los movimientos de flexión y extensión del segmento lumbar, logrando así la posibilidad de otorgar estabilización y soporte a pacientes con inestabilidad lumbar. *Los autores concluyen que esta tecnología requiere de más estudios que avalen su implementación y adaptación a diferentes prendas como chalecos y chaquetas con el objetivo de soportar y estabilizar este segmento vertebral.*

El ultimo artículo ubicado en la quinta (5) posición titulada: **“comparación de la activación muscular del tronco y de las extremidades inferiores entre cuatro dispositivos de equipo estático: bicicleta vertical, bicicleta reclinada, cinta de correr y elliptiGO”**. El estudio científico pretende evaluar la activación y trabajo de los grupos musculares del tronco y extremidades inferiores involucrados en el uso de 4 dispositivos de ejercitación; así también demostrar que uno en particular **la bicicleta ElliptiGO** no es inferior a los demás dispositivos seleccionados para las pruebas físicas; se utilizaron equipos como la bicicleta estática vertical y reclinada, la banda trotadora y ElliptiGO esta última destaca por ser un modelo de bicicleta que no requiere silla, posee mayor longitud que las convencionales y está acondicionada para que el usuario pedalee de pie tal y como se realiza en una máquina elíptica. mediante electromiografía de superficie y a través de

sensores ubicados en los músculos reclutados en las dinámicas de movimiento propios de los equipos empleados, se recopiló información para ser analizada y se concluyó que la bicicleta ElliptiGO es una alternativa comparable a los demás dispositivos en cuanto al entrenamiento de los músculos: recto femoral, bíceps femoral, erector de la columna, recto abdominal, glúteo mayor, y glúteo medio, además de disminuir la carga articular que se genera al caminar o correr; igualmente *los autores declaran que las mediciones obtenidas pueden ayudar a los médicos a desarrollar actividades de fortalecimiento que benefician estos músculos de manera baja a moderada.*

6.6.1 Extracción de la información para el tema 2, “equipos de rehabilitación y fortalecimiento muscular lumbar y abdominal”.

En el proceso de investigación que identifica el uso de tecnologías asistenciales, los cuales deben satisfacer la información requerida en el objetivo específico número 3, se puede afirmar que los estudios dedicados a la exploración de equipos mecánicos para el fortalecimiento muscular, así como los dispositivos de carácter terapéutico, carecen de presencia dentro de las plataformas seleccionadas para su consulta, predominan artículos que refieren el desempeño de la instrumentación quirúrgica como: tornillos de osteosíntesis, sistemas de fijación, cajas transforaminales entre otros.

De igual manera las plataformas ofrecen estudios que analizan la función de medios tecnológicos de comunicación paciente – terapeuta, como sistemas de monitoreo y orientación remota al paciente en sus actividades de rehabilitación autónoma en patologías de carácter musculoesqueléticos de la región lumbar que permiten informar al paciente sobre inquietudes emergentes durante su rehabilitación.

Se observa la importancia de la tracción mecánica como método de descompresión vertebral, esta proporciona ciertos niveles de relajación y analgesia durante su aplicación en el tratamiento de dolores lumbares causados por compresión radicular o hernias discales; dos equipos tecnológicos que recurren a esta práctica fueron analizados en la presente investigación, demostrando así su prevalencia y evolución terapéutica en tratamientos asociados al bienestar de la columna vertebral.

Así también los sistemas neumáticos son utilizados en técnicas de compresión que buscan respuestas de activación muscular mediante llenado y vaciado de una vejiga contenedora de aire, su uso puede ser de carácter estimulante o de soporte del área lumbar en casos de inestabilidad segmentaria originados por osteoporosis, osificación de ligamentos, debilidad facetaria o en periodos de recuperación postquirúrgicos.

Cabe resaltar el movimiento, como factor relevante del crecimiento y fortificación de los músculos abdominales y lumbares, cuya función es otorgar estabilidad a este segmento vertebral; durante la exploración solo dos (2) dispositivos cumplen con características de trabajo muscular activo involucrando cierto nivel de esfuerzo; estos equipos permiten trabajar grupos musculares como: glúteo medio y mayor, bíceps femoral, tibial anterior, recto femoral y músculos del tronco como: erector espinal lumbar (L3-L4) y el recto abdominal, esto en el caso de la bicicleta elliptiGO.

De igual manera el equipo “Reformer” permite desarrollar variadas rutinas de esfuerzo muscular y están sujetas a los grupos musculares que se desee potenciar, existen rutinas que se implementan para el desarrollo de la musculatura abdominal y lumbar, utilizando para ello las características físicas del equipo, que cuenta con resortes de resistencia, poleas de carga y una base central móvil sobre la cual el usuario adopta diferentes posiciones anatómicas acorde a las rutinas

establecidas para la zona abdominal en las que se incluyen músculos estabilizadores escapulares y músculos lumbares. Es de carácter esencial mencionar que dentro de las patologías involucradas en el uso y evaluación de estas tecnologías ninguna de ellas adopto la espondilolistesis como afección a valorar. Los diferentes mecanismos son expuestos en la tabla N° 21. (*ver tabla 21*).

Tabla 21. Tecnologías utilizadas en el tratamiento de fortalecimiento muscular lumbar.



7 Resultados

En este capítulo se integra la información extraída de los estudios analizados en sus diferentes contenidos (regímenes de ejercitación, posiciones anatómicas y equipos existentes para el tratamiento rehabilitador y de fortalecimiento muscular en espondilolistesis y lumbalgias crónicas e inespecíficas), con el objetivo de conceptualizar y diseñar un equipo de entrenamiento muscular para abdominales y lumbares en las patologías antes mencionadas; empleando para ello el programa SolidWorks 2021, para su modelado y visualización final.

7.1 Integración de la información.

De acuerdo con la extracción de la información en el área temática de rutinas o regímenes de ejercicios incluyendo su respectiva posición anatómica (*apartado 6.4.1*), se observa que las 2 rutinas con mayor prevalencia en las publicaciones analizadas son la inclinación pélvica y abdominales parciales las cuales se caracterizan por incluir la activación sostenida de los grupos musculares abdominales involucrando una ligera flexión de la región lumbar a la vez que se mantiene posición supina, estas rutinas y sus respectivas posiciones anatómicas serán tenidas en cuenta en la conceptualización del diseño propuesto.

Del mismo modo, se tendrá en cuenta de manera relevante el movimiento de activación muscular como base en la elaboración del modelo propuesto, toda vez que la presencia de estudios en las diferentes plataformas de consulta son limitados y de estos, de acuerdo a la búsqueda realizada, ninguno incluye la espondilolistesis como patología a evaluar frente al desempeño de equipo alguno; de acuerdo a lo anterior se puede inferir que hay ausencia de un dispositivo que se ocupe de la actividad física en presencia de espondilolistesis, particularidad que ya había sido señalada por *James Rainville, MD & Umar Mahmood, MD* en su artículo: *lumbar spondylolysis*

and spondylolisthesis publicado en la revista “*Fundamentos de medicina física y rehabilitación*”. en el apartado “*tecnologías*” aseveran que “***no existe una tecnología específica para el tratamiento o rehabilitación de esta condición***”. (James Rainville, 2019) en consecuencia y de acuerdo con la información extraída en las dos exploraciones, se propone un modelo de equipo que permita efectuar ejercicio de activación abdominal sostenida, que involucre movimiento leve de flexión lumbar y que ofrezca cierto nivel de descompresión vertebral en la región lumbar.

7.2 Propuesta diseño conceptual.

Se considera la posición prona para acondicionarla en el modelo, esto busca disminuir la presión que se ejerce sobre las vértebras durante la ejecución de las abdominales convencionales, ejercicio que junto con la inclinación pélvica comparte el mismo principio de activación muscular, siendo este el que se desea replicar en el equipo.

7.2.1 plataforma principal.

la plataforma principal donde reposa el paciente posee una forma en cruz semejando la posición del paciente al realizar una abdominal pero en posición prona; las dimensiones del equipo se calcularon sobre medidas antropométricas de un paciente promedio de 1.70mt de altura y un peso de 75kg; posee una abertura a la altura del rostro que facilita la respiración durante la actividad; en ambos costados de esta abertura se ubica una perforación en las que se instalaran dos asideros de los cuales se sujeta el usuario para otorgar estabilidad durante el movimiento de flexión abdominal prona. Se calculo la ubicación axilar para instalar soportes axilares ajustables puesto que se desea otorgar a la plataforma un cierto grado de inclinación, estos soportes reducirán el deslizamiento del paciente sobre la plataforma. Las medidas y la visualización de la plataforma se muestran en la figura 32 (*ver figura 32*)

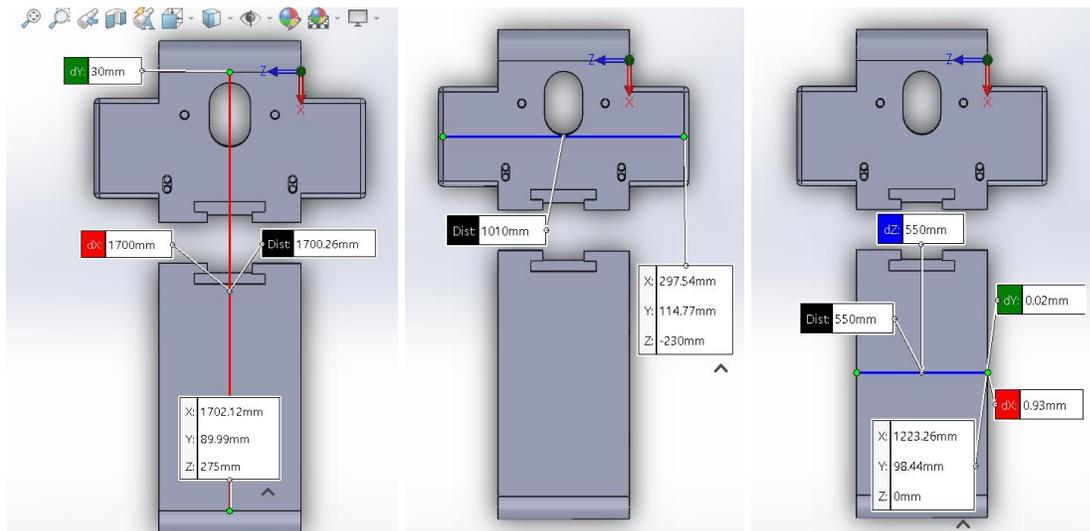


Figura 32. Plataforma principal. Fuente: autor.

7.2.2 Bloque de caucho número 1.

La plataforma se divide en dos segmentos: superior (dorso) e inferior (extremidades inferiores), estos están unidos por un bloque de caucho vulcanizado que tiene por medidas en su lado de contacto con el segmento superior 110.20mm de altura y en su lado de contacto con el segmento inferior 98.80mm , por 550.00mm de largo y 345.00mm de ancho, ocupa solo la mitad del volumen total de la altura de la plataforma además de tener una caída en ángulo de 1.06° en su superficie. (ver figura 33)



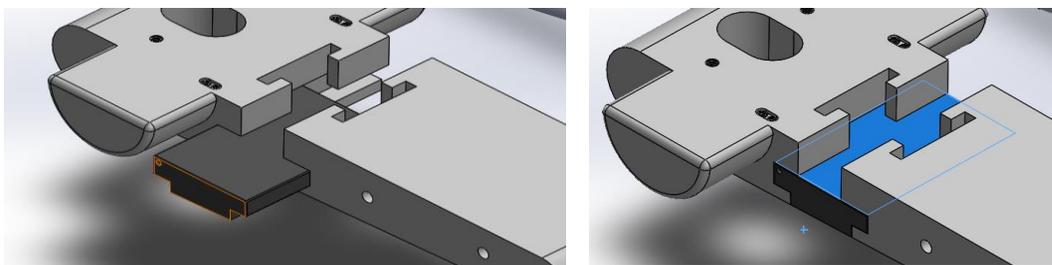
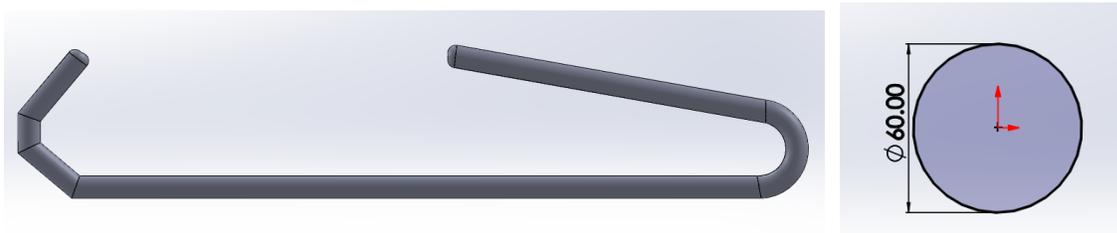


Figura 33. Módulo de caucho N°1, como medio de unión entre el segmento superior e inferior. Fuente: autor.

Este primer bloque funciona como medio de unión a la vez que recibe el peso de la carga y se curva con el esfuerzo en flexión propio de la activación muscular abdominal.

7.2.3 Soportes principales.

El segmento inferior de la plataforma permanecerá fijo, sujeto por los soportes principales ubicados a cada uno de sus lados, estos poseen 10° de elevación, posición que asume la plataforma cuando estos están instalados y permiten generar una ligera descompresión vertebral. (ver figura 34). Sus dimensiones presentan: $850.0mm$ de longitud en el segmento de acoplamiento, con 2 postes insertables de $30.0mm$ de longitud, un arco de $100.0mm$ de radio con una angulación de 10° de elevación y $1800.0mm$ de longitud en la base, además es una estructura tubular de $60.0mm$ de diámetro.



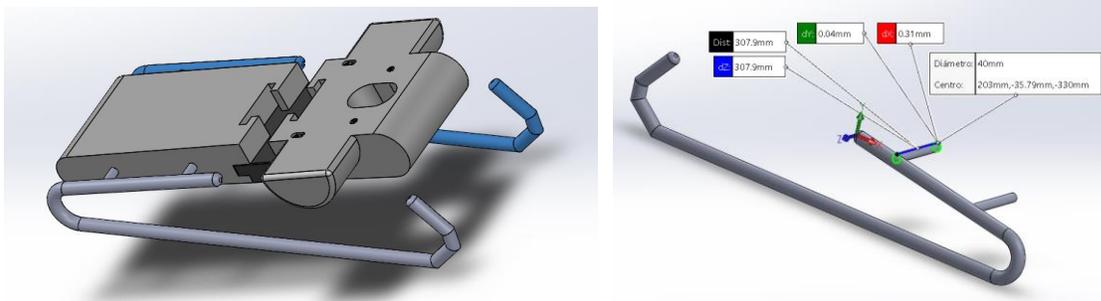


Figura 34. Soportes generales de la plataforma. Fuente: autor.

7.2.4 Bloque de caucho número 2.

Luego de acoplar el bloque de caucho número 1 y unificar la plataforma se habilita un espacio reservado para un segundo bloque de caucho (*ver figura 35*) que se encaja justo sobre el primero creando de esta manera una sola sección de caucho.

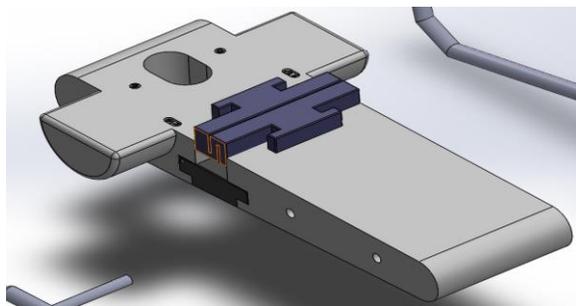


Figura 35. Unificación de bloques de caucho. Fuente: autor.

Este segundo bloque se caracteriza por tener un cuerpo principal rectangular de $320.0mm$ de ancho, $550.0mm$ de largo y $112.00mm$ de alto que se ajusta al volumen restante de la altura de la plataforma y encaja sobre el primer bloque; en cada una de sus caras principales presenta un corte parcial paralelo al lado largo ($550.0mm$), en la primera cara este corte está ubicado a $40.0mm$ adentro del borde inferior, mientras que en la cara número 2 este corte se ubica a $80.0mm$ desde el mismo punto de referencia o lo que es igual a la mitad del bloque; estos cortes debilitan el material

permitiendo que las dos porciones del material se separen al ejercer presión sobre cualquiera de sus partes, esta cualidad propia del material es aprovechada para lograr la flexión deseada sobre un segmento en particular de la región lumbar; el bloque número 2 es expuesto en la figura 36. (ver figura 36)

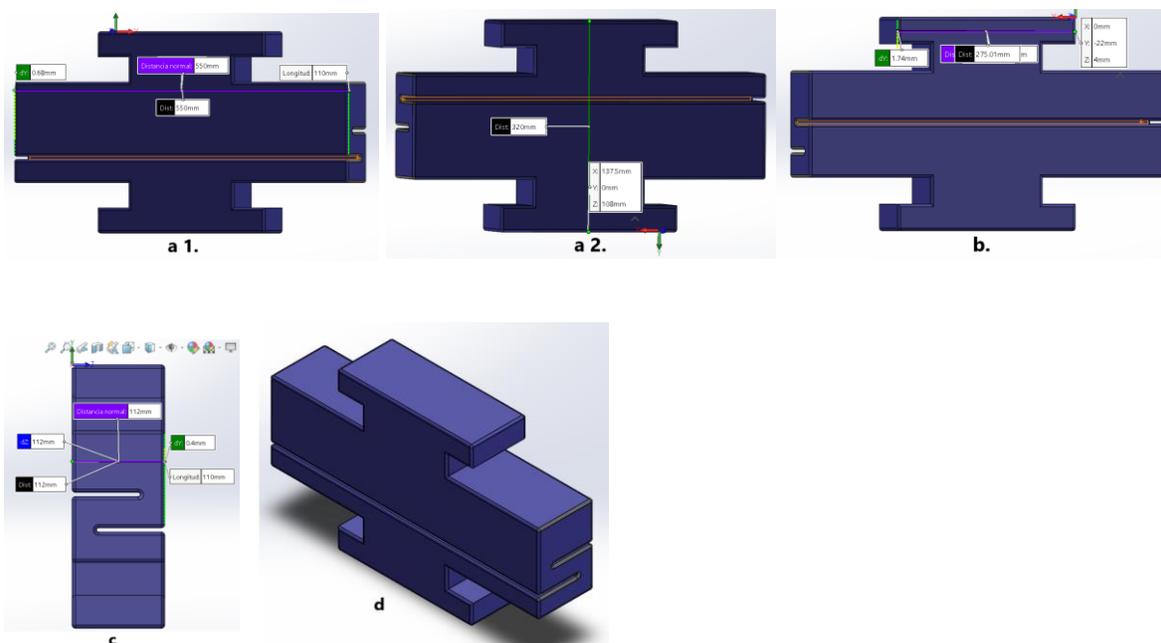


Figura 36. Módulo de caucho N° 2.

cortes longitudinales: a 1.) cara 1 posición 1; a 2.) cara 1 en posición 2, al ser girada 180°; b) cara 2 corte central; c) vista de cortes parciales laterales, d) proyección isométrica.

El bloque número 2 tiene como objetivo dividirse por medio del corte parcial presente en sus superficies mediante la aplicación de la fuerza que ejerce el abdomen al estar en contacto con el módulo y realizar un movimiento de flexión; posibilitando de esta manera seleccionar por así decirlo una porción en particular del segmento lumbar que se desee curvar, permitiendo aplicar una fuerza opuesta al desplazamiento vertebral característico de la espondilolistesis a la vez que

se ejercitan los músculos abdominales y lumbares. la relación que posee el bloque de caucho N° 2 con la anatomía lumbar se relaciona en la figura 38. (ver figura 37).

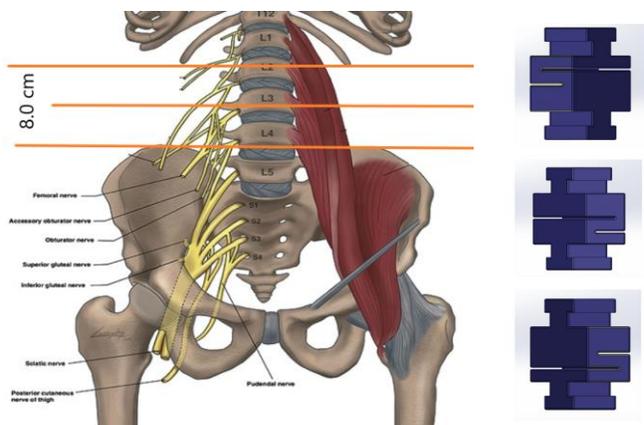


Figura 37. Relación plexo lumbosacro y cortes del bloque N°2. (DRA. Daniela Bravo, 2020)

Esta relación es resultado de las mediciones obtenidas a partir de un primer punto de referencia; este es proporcionado gracias a la información existente en anestesia neuroaxial y el método de palpación para ubicar el espacio peri dural el cual propone trazar una línea imaginaria que une las dos crestas iliacas, esta línea pasa a nivel del cuerpo de la 4ª vértebra lumbar, (Sforsini, Capurro, Gouveia, & Imbelloni., 2007), punto de referencia del cual se vale esta investigación para establecer un área de flexión para el sistema de ejercitación que se propone.

El área establecida está delimitada por la cara inferior de la 4ª vértebra lumbar (L4) y asciende hasta la cara superior de la 2ª vértebra lumbar (L2), este espacio de acuerdo a mediciones realizadas es de 80.0mm. las líneas de referencia y el espacio de separación entre ellas, se modelan en el segundo bloque de caucho a manera de corte parcial del material, buscando que estas actúen como núcleo del movimiento de flexión cuando el paciente recostado sobre el bloque, haga coincidir el corte 1 en su posición 1, con las crestas iliacas del paciente y éste realice un esfuerzo de activación muscular abdominal en flexión; esta primera configuración corresponde a los segmentos L4-L5-S1, de igual forma ocurre con el segundo corte del bloque ubicado en la cara posterior (cara 2) que

se localiza a 40.0mm del primero, posicionándose de esta manera justo en medio del bloque y que facilitaría el arqueamiento de las vértebras L3-L4-L5; mientras que al observar la cara 1, y gírala 180° conservando esta misma vista, el corte asume una nueva posición que facilitaría el arqueamiento de los cuerpos vertebrales L2-L3-L4; todas las alternativas expuestas mediante el uso del módulo 2 buscan segmentar la movilización de la región lumbar, empleando movimientos de flexión que pretenden contrarrestar el desplazamiento anterior vertebral, en pacientes con espondilolistesis a la vez que se tonifican los músculos asociados a la región lumbar y abdominal en pacientes con lumbalgias crónicas o inespecíficas.

7.2.5 Soportes axilares.

Estos dispositivos otorgan firmeza y seguridad al paciente, funcionan también como medio de ajuste a la altura del paciente buscando siempre la coincidencia entre la línea hipotética que une las crestas iliacas del paciente y el corte presente en la cara 1, posición 1, del segundo bloque de caucho, esta posición del paciente se mantiene fija mediante el deslizamiento, ajuste y posterior aseguramiento (atornillado) de los soportes axilares. Los soportes son expuestos en la figura número 38, (*ver figura 38*). Estos se caracterizan por tener 360.0mm de largo, de los cuales 230.0mm son de material blando (caucho) y poseen un diámetro 90.0mm los cuales soportan al paciente; los restantes 130.0mm están dispuestos para el anclaje a la plataforma principal por medio de un área roscada de 70.0mm y 35mm de diámetro.

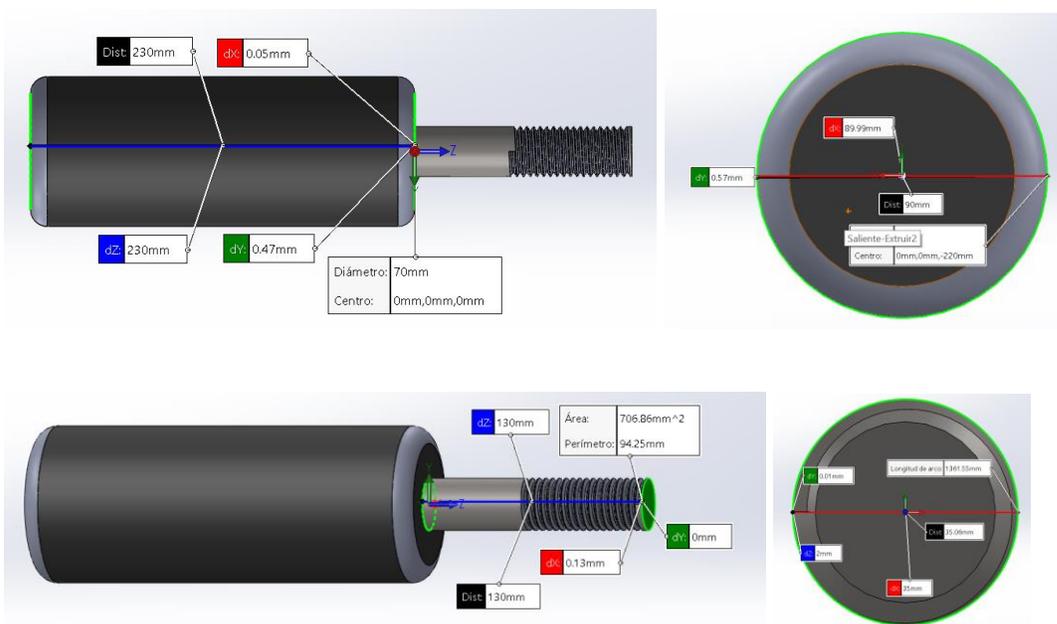


Figura 38. Soportes axilares. Fuente: autor.

7.2.6 Asideros.

Barras de metal aseguradas a la plataforma por medio de un segmento roscado, dispuestas a los costados de la abertura de ventilación y que permiten al paciente sujetarse durante la actividad física, favoreciendo su estabilidad durante los movimientos de flexión. Sus dimensiones muestran $180.0mm$ de longitud de los cuales $50.0mm$ son de área roscada y cuenta con $35.0mm$ diámetro. El asidero es expuesto en la figura 39. (ver figura 39).

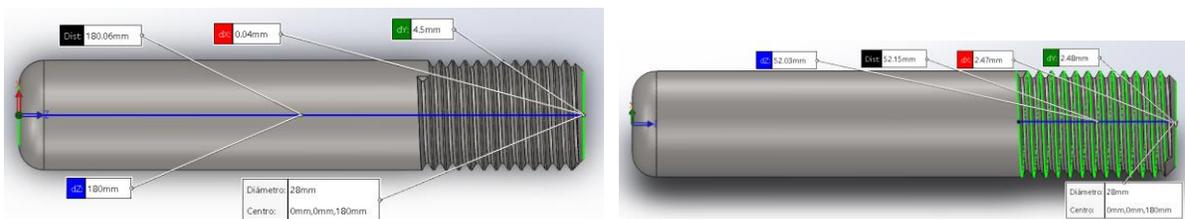


Figura 39. Asideros. Fuente: autor.

7.3 Diseño conceptual final.

Luego de conocer los componentes y su función dentro del equipo de ejercitación, podemos ver su ensamblaje terminado en diferentes vistas gracias a su desarrollo en SolidWorks versión 2021.

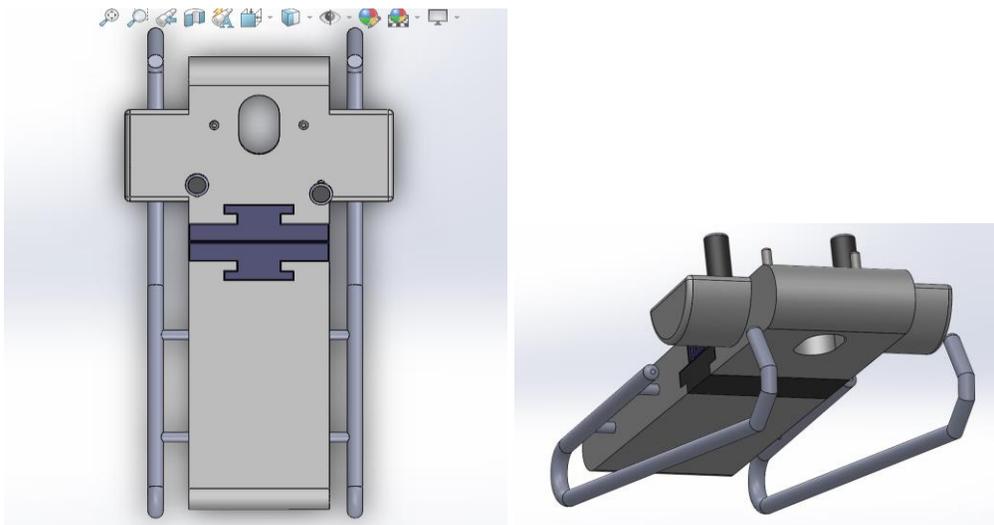


Figura 40. Vista superior e inferior equipo de ejercitación lumbar y abdominal (E.E.L.A.).

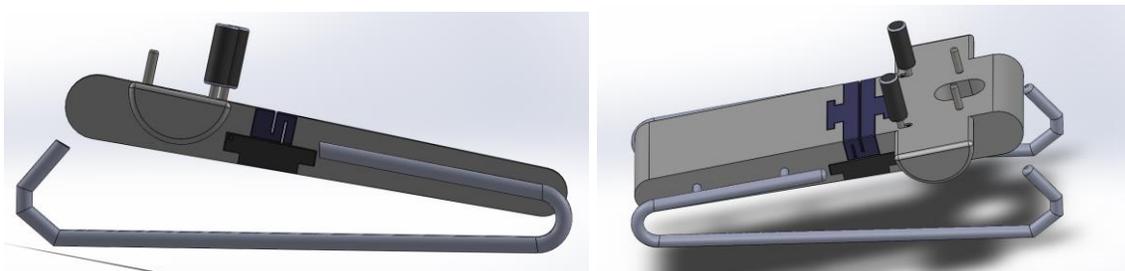


Figura 41. Vistas laterales equipo de ejercitación lumbar y abdominal. (E.E.L.A.).

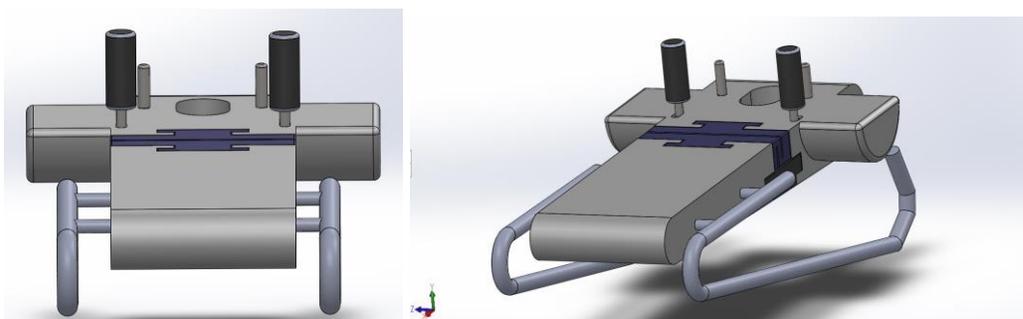


Figura 42. Vista frontal equipo de ejercitación lumbar y abdominal. (E.E.L.A.).

7.4 Indicaciones de uso.

En la plataforma principal el paciente se tumba boca abajo (posición anatómica prona) ubicando su rostro en la abertura de ventilación mientras se sujeta de las asas localizadas justo a la altura de cada uno de los oídos; de igual manera se debe alinear el corte presente en la cara número 1 en la posición 1, del bloque de caucho número 2, con la línea virtual que se propone entre ambas crestas iliacas del paciente procediendo a ajustar y conservar esta nivelación, desplazando los soportes axilares y atornillarlos para preservar esta altura del paciente. Se permite descansar al paciente unos minutos mientras la posición elevada del equipo (10°) permite una ligera descompresión de la columna, espacio que se puede aprovechar para aplicar técnicas relajantes como la termoterapia en la región lumbar; finalmente se solicita al paciente que active los músculos abdominales mediante su contracción y lentamente realice un primer movimiento de flexión lumbar parcial, este esfuerzo puede ser sostenido por unos segundos si el paciente no presenta ninguna molestia.

Mientras se avanza en las rutinas, se puede seleccionar uno de los cortes presentes en las caras del módulo número 2 y de esta manera posibilitar el arqueamiento de una porción propia del segmento lumbar con presencia de anterolistesis.

8 Conclusiones

8.1 Contenido de la revisión.

En las plataformas seleccionadas para su consulta se aprecia la carencia de estudios relacionados con las actividades de rehabilitación física en lumbalgias y espondilolistesis, mientras se observa la copiosidad de aquellos que refieren evaluaciones de técnicas e instrumentación quirúrgicas sobre las patologías.

Aquellos estudios e investigaciones que evalúan regímenes y rutinas de ejercitación muscular en lumbalgias y espondilolistesis no afirman con certeza, que alguna de estas prácticas sea superior sobre las demás técnicas evaluadas, sin embargo, para ambas afecciones coinciden algunos programas de fortalecimiento muscular, convergencia que fue aprovechada durante la etapa de conceptualización del diseño.

Los estudios consultados en las plataformas cuyo tema trata sobre tecnologías asistenciales o de apoyo en el tratamiento rehabilitador para las patologías señaladas, orientan sus exploraciones a contenidos de restricción de movimiento, higiene postural, tracción vertebral y solo un limitado número de ellos realizan evaluaciones de dispositivos utilizados en el fortalecimiento muscular de extremidades superiores, inferiores y abdominales, estos últimos no consideran la atención de lumbalgias y espondilolistesis.

8.2 Logro del objetivo general.

Conforme a los hallazgos obtenidos utilizando el método de consulta de contenido en estudios previos referentes al tratamiento fisioterapéutico en lumbalgias y espondilolistesis, se logra concluir que se da cumplimiento al objetivo general el cual propone diseñar un equipo de ejercitación para músculos abdominales y lumbares, el concepto del diseño se elaboró y se logra visualizar por medio del programa CAD Solid Works 2021; este modelo se adhiere a los requerimientos terapéuticos extraídos del estudio de contenidos.

8.3 Objetivos específicos.

8.3.1 identificación de las posiciones anatómicas.

La identificación de las diferentes posiciones anatómicas presentes en las variadas rutinas de ejercicio resulta esencial al establecer un concepto de diseño, ya que determina la forma en que el equipo debe responder al interactuar con el paciente. los hallazgos permiten concluir que las posiciones prona y supina son las más empleadas; en consecuencia, el diseño se vale de la posición prona en su dinámica de movimiento.

8.3.2 ejercicios terapéuticos.

Es notable como algunas rutinas de ejercicios se presentan con mayor frecuencia en muchos de los artículos que evalúan su eficiencia terapéutica, de acuerdo con el objetivo específico 2, los hallazgos permiten concluir que los movimientos de flexión parcial controlada, son los de mayor predominio en los artículos consultados, estos fueron determinantes para la conceptualización y posterior adaptación al diseño final.

8.3.3 identificación de tecnologías asistenciales.

El reconocimiento de las tecnologías utilizadas durante el tratamiento de fortalecimiento muscular en lumbalgias y espondilolistesis, (objetivo específico 3) permite concluir que no existe un equipo específico que facilite tonificar estos músculos con el cuidado que requieren estas condiciones, en especial frente a la espondilolistesis; lo anterior sugiere que el presente diseño inicia futuras exploraciones sobre estas tecnologías.

8.3.4 desarrollo del diseño en SolidWorks 2021.

Como conclusión final establecida en el objetivo específico 4, se logra diseñar y exponer el modelo del equipo de fortalecimiento muscular mediante el programa SolidWorks versión 2021, en donde se puede apreciar la integración de las dinámicas de movimiento resistivo a flexión, seleccionadas durante la caracterización de ejercicios y que junto a las posiciones anatómicas permitieron la integración de los requerimientos fisioterapéuticos en diseño del equipo.

8.4 Implementación.

Gracias al carácter iterativo del diseño, este es susceptible de sufrir alteraciones y mejoras de acuerdo a necesidades funcionales y de costos en el proceso de manufactura; de esta manera se podrían realizar pruebas de desempeño y eficiencia sobre la estabilización de la listesis vertebral en el caso de la espondilolistesis, así como el fortalecimiento muscular abdominal y lumbar en pacientes con las patologías ya mencionadas.

Referencias

- A.C.E.D. (26 de 03 de 2010). *www.dolor.org.co*. Obtenido de asociación colombiana para el estudio del dolor: <https://dolor.org.co/biblioteca/encuestas/VIII%20Estudio%20Prevalencia%20dolor%20cronico%20en%20colombia%20publicacion%20pagina%20ACED%202014.pdf>
- abastos, D. T. (s.f.). *www.mclibre.org*. Obtenido de http://www.mclibre.org/otros/daniel_tomas/3eso/nervioso/encefalo3eso.html
- añes, l. e. (2016). *www.nerviosraquideo1.weebly.com*. Obtenido de <https://nerviosraquideo1.weebly.com/plexos-nerviosos.html>
- baltazar, g. (26 de 09 de 2016). *www.recursosbibliograficosynovedadesmedic.com*. Obtenido de <http://recursosbibliograficosynovedadesmedic.blogspot.com/2016/09/algunas-referencias-anatomicas-i.html>
- barr, w. m. (1934). ropture of the intervertebral disc with involvement ot the spinal canal. *the new england jurnal of medicine*, 210, 211, 212.
- body-disease.com. (2014). *body-disease.com*. Obtenido de <https://body-disease.com/category/anatomy-and-human-movement/>
- cavero, j. (2016). *www.rehabilitacionpremiummadrid.com*. Obtenido de <https://rehabilitacionpremiummadrid.com/blog/jorge-cavero/anatomia-plexo-lumbar>
- cleveland, c. (1995). *http://www.clevelandclinic.org*. Obtenido de <http://www.clevelandclinic.org/health/sHIC/html/s10302.asp>
- cleveland, c. (1995). *www.clevelandclinic.org*. Obtenido de <http://www.clevelandclinic.org/healt/sHIC/html/s10302.asp>

- Clinic, T. C. (2005). <http://www.clevelandclinic.org>. Obtenido de <http://www.clevelandclinic.org/health/sHIC/html/s10302.asp>
- coello, r. (06 de 2018). www.researchgate.net. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/322297706_RELACION_TOPOGRAFICA_DEL_PLEXO_BRAQUIAL
- delgado, g. (2008). espondilolistosis degenerativas: fusión a nivel vertebral. *revista española de cirugía ortopédica y traumatología*.
- Derrickson., B. (14 de 07 de 2018). www.curiosoando.com. Obtenido de <https://curiosoando.com/que-es-la-sustancia-gris>
- deyo, r. (1993). a cohort study of complications, roperación. *lumbar espinal fusion*.
- eskola, E. o. (28 de 06 de 2012). www.osakidetza.euskadi.eus. Obtenido de https://www.osakidetza.euskadi.eus/r85-ckpadl02/es/contenidos/informacion/osapa_dolor_lumbar/es_anatomia/index.html
- figueroba, a. (2006). www.psicologiaymente.com. Obtenido de <https://psicologiaymente.com/salud/enfermedades-columna-vertebral>
- garza, r. f. (02 de 12 de 2013). www.scielo.br. Obtenido de <http://www.scielo.br/pdf/coluna/v12n2/05.pdf>
- geographic, r. n. (03 de 02 de 2011). www.nationalgeographic.es. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/encefalo>
- Gómez Salazar, L. (02 de 2012). www.revistas.unilibre.edu.co. Obtenido de https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/rc_salud_ocupa/article/view/4822/4116

gottlob, a. (2008). entrenamiento muscular diferenciado. En a. gottlob, *Differenziertes Krafttraining*, (pág. 487). badalona, españa: Paidotribo .

gottlob, a. (2008). entrenamiento muscular diferenciado. En a. gottlob. badalona, españa: editorial paidotribo.

gratacos, m. (s.f.). *www.lifeder.com*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/sustancia-blanca/>

grigory, g. m. (2015). *www.spinecarenewjersey.com*. Obtenido de <https://spinecarenewjersey.com/tag/spin-care/>

Hall, G. y. (2014). *Tratado de fisiología médica*. El sevier.

Hartvigsen, j. (15 de 04 de 2018). *www.intramed.net*. Obtenido de <https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoID=92375>

HIBA, n. (2010). *www1.hospitalitaliano.org.ar*. Obtenido de <https://www1.hospitalitaliano.org.ar/#!/home/neurocirugia/seccion/17650>

huachaca, B. l. (18 de 07 de 2018). *scholar.google.com.co*. Obtenido de : <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/1883>

infocolumna. (02 de 07 de 2012). <http://columnavertebral.info>. Obtenido de <http://www.columnavertebral.info/diferencias-medula-espinal-columna-vertebral>

inmi. (11 de 12 de 2018). *www.sh-sci.org*. Obtenido de <https://sh-sci.org/sistema-nervioso-simpatico-y-parasimpatico>

isabel, l. s. (s.f.). *morfología del cuerpo vertebral*. Obtenido de <http://bibing.us.es>

jouns, w. (2003 de 05 de 2003). <https://yourlals.lww.com>.

- Juan Delgado-Fernández. (2018). *www.neurorgs.net*. Obtenido de <https://neurorgs.net/investigacion/espondilolistesis-tecnicas-quirurgicas-avanzadas>
- kapandji. (1981). *anatomia y biomecanica de la columna*.
- Katherin, P. A. (05 de 12 de 2017). <http://www.dspace.uce.edu.ec>. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17165>
- Keith L. Moore, A. F. (2008). *Anatomía con orientación clínica*. En A. F. Keith L. Moore. México: editorial médica panamericana s.a.
- Kettenmann, H. H. (08 de 06 de 2017). <http://www.misistemainmune.es>. Obtenido de <http://www.misistemainmune.es/la-microglia-en-el-sistema-nervioso-central/>
- Kolber, W. J. (2008). *g-se.com*. Obtenido de <https://g-se.com/acondicionamiento-de-la-columna-vertebral-para-atletas-con-espondilolisis-y-espondilolistesis-lumbar-1152-sa-f57cfb271cd6cf>
- liemohn, w. (2001). *anatomia y biomecanica del tronco*. En w. liemohn, *anatomia y biomecanica del tronco*.
- liemohn, w. (2001). *antomía y biomecánica del tronco*. En w. liemohn, *antomía y biomecánica del tronco*.
- luttmann, a. (2004). *prevencion de trastornos musculoesqueleticos en el lugar de trabajo*. francia: organizacion mundial de la salud.
- medspine., c. (27 de 11 de 2015). *www.medspine.es*. Obtenido de <https://www.medspine.es/curvas-columna/>
- merskey h, p. t. (1979). *a list with definitions and notes on uscege. recomendada by the IASP subcommitte on taxonomy*, 6.

Michel Latarjet, A. R. (2006). Anatomía humana, Volumen 1. En A. R. Michel Latarjet. buenos aires, argentina: panamericana.

Ministerio de la Protección Social. (12 de 2016). www.minsalud.gov.co/. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/GATISO-DOLOR%20LUMBAR%20INESPEC%C3%8DFICO.pdf>

Moix, Q. j. (03 de 12 de 2008). www.scielo.isciii.es. Obtenido de Clínica y Salud vol.19 no.3: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1130-52742008000300007

Montelongo Pérez, J. L. (2016). [www.universidad de las palmas de gran canaria es](http://www.universidad.de.las.palmas.de.gran.canaria.es). Obtenido de https://scholar.google.com.co/scholar?q=investigacion+tratamiento+espondilolistesis&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

Moore, K. L. (2005). Anatomía con orientación clínica, 4a ed. madrid: ed. medica panamericana.

oscar, c. m. (12 de 01 de 2015). www.psicologiaymente.com. Obtenido de <https://psicologiaymente.com/neurociencias/medula-espinal>

pendiente. (2001).

radiologia.es. (16 de abril de 2015). w-radiologia.es. Obtenido de <http://w-radiologia.es/reconstruccion-columna-lumbar.php>

restrepo, D. m. (2012). www.doctoralia.co. Obtenido de <https://www.doctoralia.co/preguntas-respuestas/cual-es-el-porcentaje-de-espondilolistesis-en-colo>

Rigutti, A. (24 de 01 de 2018). www.saberespractico.com. Obtenido de <https://www.saberespractico.com/anatomia/pares-craneales-funciones/>

- Rodts, M. (29 de 11 de 2018). *www.spineuniverse.com*. Obtenido de <https://www.spineuniverse.com/espanol/espondilolistesis/espondiolistesis-lesi-lumbar>
- salud. (24 de septiembre de 2015). *eltiempo.com*. Obtenido de [eltiempo.com:](http://www.eltiempo.com/archivo/documento)
<http://www.eltiempo.com/archivo/documento>
- salud. (24 de 09 de 2015). *eltiempo.com*. Obtenido de [eltiempo.com:](http://www.eltiempo.com/archivo/documento)
<http://www.eltiempo.com/archivo/documento>
- salud,eltiempo.com. (24 de septiembre de 2015). *www.eltiempo.com*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16385583>
- Sandra L Arce Eslava, E. J. (01 de 06 de 2013). *revistas.unilibre.edu.co*. Obtenido de https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/rc_salud_ocupa/issue/view/396
- soberanis, m. c. (13 de 02 de 2018). *www.medium.com*. Obtenido de <https://medium.com/soldai/inspiraci3n-biol3gica-de-las-redes-neuronal>
- sousa, r. d. (02 de 09 de 2018). *blogpilates.es*. Obtenido de <https://blogpilates.es/espondilolistesis/>
- Sowell, E. R. (s.f.). *www.lifeder.com*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/sustancia-blanca/>
- spinacol. (2017). *spinacolombia.com*. Obtenido de <http://spinacolombia.com/epidemiologia/>
- squarespace. (2012). *III.3.anatomia y biomecanica de la columna vertebral*. Obtenido de [III.3.anatomia y biomecanica de la columna vertebral PDF](#)
- srl, d. l. (17 de 04 de 2015). *www.lanueva.com*. Obtenido de <https://www.lanueva.com/nota/2015-4-17-1-3-0-dolor-de-espalda-una-historia-de-cuatro-millones-y-medio-de-anos>

- tapias, l. m. (2014). *www.revistas.ces.edu.co*. Obtenido de <http://www.revistas.ces.edu.co/index.php/movimientoysalud/article/download/2969/pdf>
- torre, d. m. (2005). *www.medigraphic.com*. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/juarez/ju-2005/ju053c.pdf>
- Valencia, J. F. (junio de 2004). *www.researchgate.net*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/308781220_Valoracion_de_la_espondilolistesis_en_atencion_primaria
- Vertical Health, L. (15 de 07 de 2017). *www.spineuniverse.com*. Obtenido de <https://www.spineuniverse.com/espanol/espondilolistesis/que-espondilolistesis>
- victor, a. p. (04 de 12 de 2017). *www.hidden-nature.com*. Obtenido de <https://www.hidden-nature.com/sistema-nervioso-central>
- www.recursosbiblio.url.edu.gt*. (s.f.). Obtenido de http://www.recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/Libros_y_mas/2015/08/biop/cap/03.pdf