

CARACTERIZACIÓN DE LOS TIPOS O MECANISMOS DE LESIONES  
MEDULARES PARA ESTABLECER LAS PROPIEDADES DE LAS PRÓTESIS  
EXO-ESQUELÉTICAS

SANTIAGO ALEJANDRO RODRIGUEZ RAMIREZ. 83105  
LUIS FERNANDO CASTAÑO ROA 81877

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS BIOMÉDICOS

ASESORA:  
PROFESORA MARIA ANTONIETA DUSSÁN ÁLVAREZ

UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA BIOMÉDICA

### Agradecimientos:

Queremos de antemano agradecer a la universidad ECCI por aportarnos a lo largo de estos años todos los recursos en cuanto a maestros, información y conocimientos se refiere, en compañía de las instalaciones y laboratorios requeridos en cada una de las etapas cursadas y finalizadas con éxito.

De manera igual de importante queremos agradecer el trabajo, dedicación, y acompañamiento de nuestra tutora, la docente María Antonieta Dussán Álvarez quien con dedicación, cariño y apoyo a lo largo de más de un año ha sido parte fundamental en la elaboración y correcta finalización de este trabajo de investigación.

Por último, queremos dar las gracias a cada uno de nuestros padres, hermanos, familiares y amigos cercano, los cuales, a lo largo de este proceso de investigación y elaboración del proyecto, fungieron la labor de apoyarnos con cada una de sus frases de motivación que nos llenan de aliento y ganas de seguir en aquellos momentos de frustración y desilusión.

## 1 Tabla de contenido

2	INTRODUCCIÓN.....	7
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	9
3.2	PREGUNTA PROBLEMA.....	11
3.3	HIPOTESIS.....	12
4	JUSTIFICACIÓN.....	12
5	OBJETIVOS.....	13
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	13
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
6	MARCO DE REFERENCIA.....	14
6.1	TIPOS DE LESIÓN MEDULAR.....	14
6.2	MECANISMOS TRAUMÁTICOS DE LA LESIÓN.....	16
6.3	TIPOS DE TERAPIA.....	20
6.4	PROTESIS EXO-ESQUELÉTICAS.....	20
7	METODOLOGÍA.....	22
7.1	DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS REALIZADOS.....	24
8	RESULTADOS	
9	CONCLUSIONES.....	39
10	Bibliografía.....	40

## TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. FRACTURA VERTEBRAL POR COMPRESIÓN AXIAL	16
ILUSTRACIÓN 2. FRACTURA POR FLEXIÓN-ROTACIÓN	17
ILUSTRACIÓN 3. FRACTURA-LUXACIÓN	18
ILUSTRACIÓN 4. FRACTURA POR HIPEREXTENSIÓN	18
ILUSTRACIÓN 5. FRACTURA ESTALLIDO	19
ILUSTRACIÓN 6. FRACTURA POR APLASTAMIENTO	19

## LISTA DE TABLA

TABLA 1. LOS MECANISMOS Y TIPOS DE TERAPIAS EN LAS LESIONES MEDULARES	28
TABLA 2. NECESIDADES Y DIFICULTADES QUE PRESENTAN LOS PACIENTES CON LM	30
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LAS PRÓTESIS PARA PERSONAS CON LM	33

## RESÚMEN

Palabras clave:

Prótesis, asistente, lesión medular, mecanismos traumáticos, terapias.

En este proyecto de investigación elaborado por estudiantes de quinto semestre del programa de ingeniería biomédica en la Universidad ECCi, se planteó como problemática la razón de ser de una prótesis Exo-esquelética para que pueda cumplir la función de asistente en la vida diaria, en personas que han sufrido de una lesión medular. el proceso investigativo condujo a la adquisición de conocimientos en torno a: 1.) los tipos o mecanismos de lesión medular tales como la flexión ligamentosa, compresión axial, flexión-compresión axial, flexión-rotación e hiperextensión (*TRAUMATISMOS RAQUIMEDULARES*, 2012) entre otras. 2.) Sus implicaciones o afectaciones directas que estas producen en la salud del paciente debido a los mecanismos traumáticos que las provocaron, estas complicaciones suelen ser en su mayoría procesos bioquímicos y celulares divididos en diversas fases (inmediata, Aguda, Subaguda, Intermedia y Crónica) (*TRAUMATISMOS RAQUIMEDULARES*, 2012) 3.) Causas que provocan este tipo de lesiones presentes la mayor parte del tiempo en accidentes, caídas, o de factor hereditario. (Ahuja & Fehlings, 2017)

Una vez adquiridos estos conocimientos, se investigó en primera instancia sobre los diversos métodos de terapia que se utilizan o implementan en estas lesiones, y en segundo lugar, se investigó la eficiencia de este tipo de terapias en el marco de la autonomía e independencia lograda por el paciente, por último, a partir de la relación de estos conocimientos e investigaciones se establecieron las características de diseño con las que debe contar una prótesis para ser un gran asistente en la vida diaria de una persona con lesión medular

## ABSTRACT

### Keywords:

Prosthesis, assistant, spinal cord injury, traumatic mechanisms, therapies.

In this research project developed by fifth-semester students of the biomedical engineering program at ECCi University, the rationale for an exoskeletal prosthesis was raised as problematic so that it can fulfill the role of assistant in daily life, in people who have suffered from a spinal injury. The research process led to the acquisition of knowledge about 1.) the types or mechanisms of spinal cord injury such as ligamentous flexion, axial compression, axial flexion-compression, flexion-rotation and hyperextension (*TRAUMATISMOS RAQUIMEDULARES*, 2012) among others. 2.) Their implications or direct affectations that these produce in the health of the patient due to the traumatic mechanisms that caused them, these complications are mostly biochemical and cellular processes divided into different phases (immediate, Acute, Subacute, Intermediate and Chronic) (*TRAUMATISMOS RAQUIMEDULARES*, 2012) 3.) Causes that cause this type of injury present most of the time in accidents, falls, or hereditary factors. (Ahuja & Fehlings, 2017)

Once this knowledge was acquired, the different therapy methods used or implemented in these injuries were first investigated, and secondly, the efficiency of this type of therapy was investigated within the framework of the autonomy and independence achieved by the patient. Finally, from the relationship of this knowledge and research, the design characteristics that a prosthesis must have to be a great assistant in the daily life of a person with spinal cord injury were established.

## 2 INTRODUCCIÓN

Las lesiones medulares son una problemática en la salud que varios de cientos de personas viven a diario, con serias afecciones y repercusiones en la salud tales como paraplejia o hemiplejia acompañadas de una seria degeneración neuronal de la persona afectada, limitando así cada vez más su independencia, autonomía y capacidad de realizar actividades de la vida diaria, al igual que trae consigo repercusiones financieras y psicosociales en el individuo y su núcleo familiar más cercano (Ahuja & Fehlings, 2017).

De igual manera, esta patología no cuenta actualmente con un tratamiento el cual permita que quienes sufran de ella, puedan volver a las actividades de la vida diaria con una total normalidad y autonomía, dado a que el alcance de los tratamientos actuales van enfocados a la rehabilitación y tratamiento precoz de la lesión, buscando mitigar las consecuencias negativas que esta patología trae consigo a largo plazo, tratamientos como descompresión quirúrgica enfocada en tratar los pinzamientos neurales, o la resonancia magnética no invasiva con electrofisiología y morfometría histológica (Ahuja & Fehlings, 2017). que busca determinar la velocidad del deterioro neuronal, para así poder prever el nivel de desgaste neuronal y pérdida de habilidades motoras o comunicativas del paciente.

En este sentido, esta investigación busca establecer las pautas y características básicas necesarias con las que debiera cumplir un prototipo de prótesis Exoesquelética para convertirse en un gran asistente de la vida diaria de una persona con lesión en la médula espinal, partiendo desde el análisis de los tipos o mecanismos de lesión que desembocan en el proceso degenerativo de las funciones motoras, neurológicas y psicológicas.

### 3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las lesiones medulares son, a día de hoy, un tema de gran complejidad e interés en cuanto al ámbito de la investigación médica se refiere, pues es una problemática que trae consigo múltiples consecuencias negativas para el paciente y su círculo social más cercano, estando entre las principales consecuencias la paraplejia o hemiplejia de aquella persona que sufrió la lesión acompañada de múltiples niveles de deterioro neuronal, acompañada de múltiples intervenciones médicas y quirúrgicas que representan una gran cantidad de inversión económica para poder ser llevadas a cabo. (Deng, A. W, 2004)

El tratamiento de una lesión medular es muy particular para cada persona, esto debido a los diversos mecanismos de lesión ocasionados durante el accidente, pues el tratamiento para una lesión medular ocasionada por un mecanismo de flexión en la columna es muy diferente al tratamiento que necesita una persona cuyo mecanismo de lesión fue la rotación o hiperextensión de la columna. Es por esta misma razón que es de vital importancia conocer los factores que desencadenaron en el accidente y como se dio el mismo, para poder brindar una intervención precoz y eficaz que disminuya de manera significativa las consecuencias negativas del mismo.

Por otro lado, el cambio brusco en el estilo de vida de la persona afectada por la lesión y su núcleo familiar cercano implican un gran impacto en su forma de vivir y afrontar las situaciones de la vida hasta el momento, pues este tipo de lesiones, dependiendo el mecanismo y gravedad de la lesión implican la pérdida de autonomía de la persona.

En muchos casos implica la pérdida de sus trabajos e ingresos económicos para el núcleo familiar, además de eso, esta situación necesita de una constante vigilancia y acompañamiento de un tercero que cumpla la función de cuidador, para que lo ayuden a realizar diversas labores de su vida diaria o el desplazamiento dentro o fuera de la ciudad según lo requiera. En múltiples ocasiones esta labor la desempeña un familiar cercano, o personal especializado contratado por la familia,



personas tales como enfermeras o cuidadores con experiencia en el tratamiento y manejo de este tipo de pacientes, lo que deriva en un gasto económico adicional para el afectado y su núcleo familiar. (Deng, A. W, 2004)

Teniendo en cuenta lo mencionado previamente en cuanto a los costos en los que incurre el núcleo familiar de una persona que sufre de una lesión medular refiriéndose expresamente a gastos médicos, intervenciones quirúrgicas y la mensualidad que se le debe pagar a un cuidador especializado en el tratamiento de este tipo de pacientes, combinado con el hecho de que la persona que sufre de la lesión medular pierde total autonomía y control de su cuerpo surge la necesidad de encontrar una alternativa que le permita al paciente recuperar un poco de su autonomía perdida y que a la vez busque reducir al máximo los gastos médicos e intervenciones quirúrgicas, razón por la cual se busca proponer las propiedades de una prótesis Exo-esquelética tomando como base la caracterización de las diversas lesiones medulares.

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las lesiones medulares en su mayoría suelen ocurrir a cierto nivel cervical, lo que conlleva a un deterioro significativo de las funciones motoras primarias del paciente, este tipo de lesiones se clasifican debido a dos fases conocidas como la lesión primaria y la lesión secundaria (Ahuja & Fehlings, 2017), en donde la lesión primaria resulta ser consecuencia de cualquier mecanismo de lesión bien sea, hiperextensión, rotación, flexión o demás mecanismos traumáticos sufridos de manera directa o indirecta sobre alguna zona de la médula espinal del paciente, en donde cualquiera de estos mecanismos representa un exceso de energía sobre la misma.

Por otro lado, la lesión secundaria es una serie encadenada de consecuencias directas de la lesión primaria que se caracteriza por una señalización proapoptótica e inflamación directa de las células que rodean la zona de la lesión, esta va normalmente acompañada de una interrupción neuronal ocasionando una paraplejía

o hemiplejia dependiendo de la zona donde se sufrió la lesión y del mecanismo propio de dicha lesión, pues una lesión “grave” entre T1 y T2 sin importar el mecanismo traumático de la lesión ocasiona una paraplejia, siendo esta la lesión secundaria más conocida y más grave, pues junto a esta se ve una seria pérdida de funciones neuronales, ocasionando fisiopatologías como insensibilidad, pérdida de funciones motoras llegando a ser mínimas o nulas y una agilidad mental reducida en comparación a una persona que no ha sufrido ningún tipo de lesión. Este tipo de lesiones, conocidas como lesiones secundarias suelen observarse en gran medida cierto tiempo después sufrida la lesión, a excepción de algunas (paraplejia, hemiplejia) que se observan casi inmediatamente después de la lesión.

Las lesiones sufridas a nivel medular suelen tener su causalidad en ciertas acciones o incidentes determinados, siendo estas actividades un factor de riesgo para llegar a sufrir de una lesión medular, entre dichas acciones se encuentran las mencionadas a continuación:

- Golpes fuertes en la espalda.
- Caídas sufridas debido a deportes de alto impacto.
- Accidentes de tránsito.
- Lesiones por deportes y/o actividades de alto riesgo como Motocrós, Escala al aire libre, Salto en Bunge, Parapente, entre otras.
- Accidentes que suelen llegar a ser denominados como sencillos, un claro ejemplo es una caída en la vida diaria, pues esto en una persona potencialmente vulnerable a una lesión medular como lo son personas de la tercera edad o con enfermedades óseas como osteoporosis y/o osteogénesis imperfecta, una caída en las escaleras o en el piso mojado puede desencadenar en una lesión medular.

La importancia de la atención a pacientes que sufren de este tipo de lesión es fundamental, ya que una eficaz y correcta atención primaria puede reducir la gravedad de las consecuencias a largo plazo ocasionadas por la lesión medular (Eckert, M. J., & Martin, M. J.).

La importancia de la eficacia en los tratamientos es sumamente fundamental ya que eso determina el avance y posible aparición de futuras complicaciones en la salud a futuro, la eficacia del tratamiento también determina el porcentaje de mortalidad de las 250.000 a 500.000 personas que sufren de lesiones medulares a nivel mundial debido a causas que en su mayoría son prevenibles (Lesiones medulares. 2013, 19 noviembre) que fueron mencionadas previamente, esto se debe ya que una persona que sufre de una lesión medular es de dos a cinco veces más propensa de morir de manera prematura si se compara con alguien que no sufre este tipo de lesiones.

## 3.2 PREGUNTA PROBLEMA

Teniendo en cuenta que, aunque las prótesis y asistentes mecánicos son una forma de tratamiento común, no son las más utilizadas y en ocasiones sí son bastante criticadas, esto debido a sus altos costos de fabricación, la puesta en duda de su funcionalidad por personas desconocedores del tema, su apariencia estética bastante robusta, entre otras tantas críticas.

Las mencionadas previamente son aquellas críticas que con mayor frecuencia se pueden dar a conocer a la hora de hablar de prótesis Exo-esqueléticas. con base en lo anterior la pregunta es. ¿Cómo establecer las propiedades de una prótesis Exo-esquelética para que funcione como un asistente de la vida diaria en pacientes con lesión medular, partiendo de la caracterización del tipo de lesión, su mecanismo traumático y su relación con la causa del accidente?

### 3.3 HIPOTESIS

La caracterización de las lesiones medulares teniendo en cuenta el tipo o mecanismo que origina la lesión, como la causa traumática y los diversos tratamientos de rehabilitación, proporcionan una herramienta básica y primordial para establecer las propiedades en cuanto a materiales, dimensiones y electrónica necesaria para la elaboración de una prótesis Exo-esquelética.

## 4 JUSTIFICACIÓN

Las lesiones medulares traen consigo consecuencias devastadoras para el bienestar físico, financiero y psicosocial de pacientes y cuidadores, pues en su mayoría las lesiones medulares requieren de intervenciones quirúrgicas costosas y que se deben realizar casi que de manera inmediata una vez sufrida la lesión; esto buscando mitigar eventos adversos y posibles consecuencias de mayor complejidad para el paciente a largo plazo (Ahuja & Fehlings, 2017).

El anterior escenario se agrava cuando se hace necesario agregarle las extensas y costosas sesiones de terapias y rehabilitación, que además de generar múltiples gastos e inversiones en tratamientos que mitigan de manera parcial el dolor del paciente. Dejan de lado el desarrollo de la autonomía e independencia del paciente como su participación funcional dentro del núcleo familiar y la sociedad en general, lo que vislumbra la necesidad del desarrollo de prototipos el cual otorgue un mayor rango y capacidad de movimiento al paciente, para desempeñar funciones más complejas, con una mayor eficacia y exactitud. De esta manera poder aumentar su estabilidad emocional y brindar una disminución en el grado de dependencia físico-emocional del paciente hacia su cuidador (Ahuja & Fehlings, 2017).

## 5 OBJETIVOS

En esta sección del trabajo se nombrarán el objetivo general y los objetivos específicos sobre los cuales se basa la investigación.

### 5.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los mecanismos de producción de las lesiones medulares de acuerdo con las causas traumáticas que la ocasionan y en base a esto proponer las propiedades mecánicas, electrónicas y de diseño de una prótesis Exo-esquelética.

### 5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los tipos o mecanismos de lesión y establecer una relación con la causa traumática más común y con sus respectivas terapias y tratamientos.
- Comparar a profundidad los tratamientos encontrados, con relación a si satisfacen las necesidades del paciente y las posibles dificultades que pueden surgir debido a su uso.
- Establecer claramente las propiedades mecánicas, electrónicas y de diseño con las que debe contar la prótesis Exo-esquelética, para solventar de manera adecuada las necesidades de los pacientes.

## 6 MARCO DE REFERENCIA.

En esta sección de la investigación daremos a conocer parte de algunos de los principales textos y artículos de investigación que se tuvieron en cuenta a la hora de llevar a cabo este proyecto, analizando y explicando estos artículos y relacionándolos de manera directa con el objetivo de este proyecto de investigación.

En primera instancia se buscó mediante la página de Pubmed diversos artículos y ensayos de investigación relacionados con el tema de lesiones medulares, bien fuera enfocado únicamente en los mecanismo traumáticos que podrían llevar a una lesión medular, artículos los cuales se enfocan únicamente en el estudio de lo que ocurre una vez sufrida la lesión, y artículos en los cuales se exponía un tipo de lesión medular específico a algunos animales de prueba, se relacionaba con algún tipo de terapia ya sea convencional o nuevas alternativas y en última daban la conclusión y viabilidad de este tipo de terapias.

### 6.1 TIPOS DE LESIÓN MEDULAR

Las lesiones de la columna vertebral y la médula espinal ocurren con frecuencia después de mecanismos de lesión de alta energía, o con mecanismos de menor energía, en poblaciones seleccionadas de pacientes como los ancianos (Eckert, M. J., & Martin, M. J.). Al igual de este artículo se encontró información para los pacientes con lesión ósea y / o ligamentos, el enfoque inicial debe ser la inmovilización espinal y la prevención de la inducción de lesiones en la médula espinal (Eckert, M. J., & Martin, M. J.).

Las lesiones medulares tienen grandes consecuencias devastadoras para el bienestar físico, financiero y psicosocial de los pacientes y sus cuidadores, esto debido en gran medida a la fisiopatología de la Lesión medular espinal causada por una lesión traumática primaria seguida de lesiones secundarias caracterizadas por isquemia, señalización proapoptótica e infiltración de las células inflamatorias periféricas durante las primeras horas una vez ocurrida la lesión. (Ahuja & Fehlings, 2017).

En otro artículo el tipo de lesión medular se debe a las paraplejias espásticas de carácter hereditario, en el cual son un grupo genéticamente heterogéneo de trastornos neurológicos. En donde los pacientes presentan debilidad y espasticidad de las extremidades inferiores, complicadas en formas complejas por signos neurológicos adicionales, se han planteado varias hipótesis sobre los mecanismos fisiopatológicos que se ven implicados, entre estos mecanismos se incluyen principalmente el tráfico intracelular normal, cambios en la configuración del retículo endoplasmático y defectos que afectan al metabolismo de los lípidos, varios de estos genes hereditarios afectan a múltiples funciones que en su mayoría se encuentran interconectadas (Boutry, M. Morais, S. Stevanin, G. 2019).

Las lesiones traumáticas de la médula espinal a nivel cervical es un problema muy serio en donde las funciones respiratorias y cardiovascular se encuentran comprometidos en gran medida debido al déficit neurológico, este tipo de lesiones aun siendo manejadas adecuadamente, esta condición amenaza seriamente la vida de las personas lesionadas (Jiménez Ávila, JM. Álvarez Garnier, JC. Bitar Alatorre, WE. 2012).

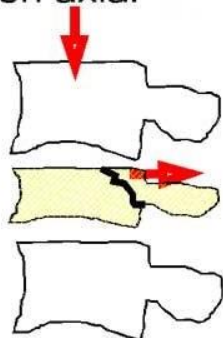
Se encontró que como principal causa de muerte de 34 pacientes tomados como referencia 17 fallecieron por complicaciones pulmonares, 12 de estos pacientes fallecieron por problemas cardiovasculares, y los 5 pacientes restantes fallecieron por diversas razones como sangrado del tubo digestivo o disfunción del tallo, entre otras (Jiménez Ávila, JM. Álvarez Garnier, JC. Bitar Alatorre, WE. 2012).

Por otro lado, se encontró que en su mayoría las lesiones en la médula espinal ocurren a nivel cervical lo que trae consigo un nivel de deterioro bastante significativo, el nivel ascendente donde se sufrió la lesión conduce al empeoramiento de las funciones en las extremidades anteriores y con la pérdida de tejido neuronal y neuronas específicas de los músculos (Jared t. Wilcox, Kajana Satkunendrarajah, Alex M. Laliberte. 2017).

## 6.2 MECANISMOS TRAUMÁTICOS DE LA LESIÓN

Los traumatismos axiales sobre el vértex craneal pueden producir fracturas de los arcos del atlas, lo que frecuentemente ocurre en los canales (agujeros transversos) para las arterias vertebrales. Este tipo de fracturas tiende a ensanchar el canal medular y pueden no originar daño neurológico. En ocasiones la fuerza puede transmitirse hacia la médula sin lesión craneal ni vertebral, y provocar microhemorragias en la médula alta (C2), originando parálisis respiratoria (F. Barranco Ruiz, J. Blasco Morilla, A. Mérida Morales).

### Compresión axial



*Nota.* La imagen muestra lo ocurrido en las vértebras durante una fractura de compresión axial. Tomado de: *Traumatismo Raquimedulares* <https://neurorgs.net/docencia-index/uam/tema-14-seccion-medular/>

*Ilustración 1. Fractura vertebral por compresión axial*



Como se puede observar en la ilustración 1 puede producirse fractura de odontoides, sobre todo cuando se combinan mecanismos de flexión y rotación de la cabeza que pueden determinar, además, rotura del ligamento transversario y otros ligamentos de sostén, originando luxación atloaxoidea con posibilidad de compresión medular alta e incluso bulbar baja (F. Barranco Ruiz, J. Blasco Morilla, A. Mérida Morales).



*Nota.* En la imagen se observa lo ocurrido en las vértebras en una fractura de flexión rotación. Tomado de: *Traumatismo Raquimedulares*

<https://neurorgs.net/docencia-index/uam/tema-14-seccion-medular/>

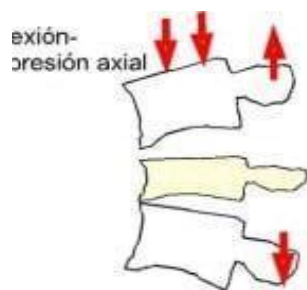
*Ilustración 2. Fractura por Flexión-rotación*

Por otro lado, la fractura-luxación C2-C3 también conocida como fractura del ahorcado es causada por tracción e hiperextensión, esta causa fractura de los pedículos del axis con desplazamiento anterior de éste, lesión de las arterias vertebrales y compresión medular. También ocurre en accidentes viales cuando la cara o la barbilla chocan con el volante o el tablero (F. Barranco Ruiz, J. Blasco Morilla, A. Mérida Morales).

*Múltiples mecanismos (Compresión, Distracción Axial, Rotación, cizallamiento (Torsión) y Deslizamiento)*



En cuanto al resto del raquis, hay que tener en cuenta que la zona alta de la columna dorsal está reforzada y fijada por la jaula torácica y, por lo tanto, está dotada de menor movilidad. Sin embargo, la charnela dorsolumbar (T10-L2) es mucho más móvil, lo que determina la mayor frecuencia de lesiones a este nivel. Las lesiones que se producen pueden ser fractura en cuña causada por aplastamiento, fractura por estallido que suele deberse a fuerzas axiales, y las fracturas de las otras zonas de la vértebra lumbar baja son mucho menos frecuentes (F. Barranco Ruiz, J. Blasco Morilla, A. Mérida Morales).



*Nota.* En esta imagen se puede observar lo ocurrido en las vértebras durante una fractura de estallido. Tomado de: *Traumatismo Raquimedulares* <https://neurorgs.net/docencia-index/uam/tema-14-seccion-medular/>

*Ilustración 5. Fractura estallido*



*Nota.* En esta imagen se puede observar lo que ocurre en las vértebras cuando se sufre una fractura por aplastamiento. Tomado de: *Fracturas Vertebrales* <https://www.fisiohogar.com/alcorcon/fracturas-vertebrales/>

*Ilustración 6. Fractura por aplastamiento*

## 6.3 TIPOS DE TERAPIA

Los tipos de terapia como se podrán evidenciar en la Tabla 1, tienen distintas formas y mecanismos de realizar estas operaciones. Comenzamos con la terapia neuro protectora con descompresión quirúrgica, LCR (Eckert, M. J., & Martin, M. J.). Esta trabaja de forma que frene la pérdida de neuronas con las que se ejecutan los movimientos.

La resonancia magnética no invasiva es una terapia usada principalmente para detectar anomalías en las extremidades, este tipo de terapias no invasivas son útiles para marcar los procesos hasta el momento, además de encontrar la deficiencia (Jared T. Wilcox, Kajana Satkunendrarajah, 2017).

Por otro lado, tenemos la descompresión quirúrgica, con la cual se realiza un alivio por presión en los nervios, ayudando al paciente a disminuir el dolor causado por el mismo (Eckert, M. J., & Martin, M. J.).

## 6.4 PROTESIS EXO-ESQUELÉTICAS

Las prótesis Exo-esqueléticas son elementos de alta complejidad con múltiples materiales de alta resistencia, rígidas en su mayoría con un exterior de plástico o metal duro, que cuentan en su interior con una estructura esquelética central que consiste de varios componentes modulares y acoples que otorgan diversos ángulos lo que facilita la extracción de componentes en caso de ser necesario.

Con el pasar del tiempo las prótesis Exo-esqueléticas o las prótesis en si han tomado una gran relevancia a nivel mundial, esto debido a que a pesar de las múltiples diferencias que pueden existir de una a otra todas buscan cumplir el

objetivo de proporcionar un ajuste que sea estable y cómodo para el paciente (Stokosa, 2021).

La diferencia de las prótesis radica fundamentalmente en las necesidades propias del paciente, es por esto que un profesional médico experto en el tema orienta al paciente y su núcleo familiar a elegir los mejores materiales y características de la misma según las necesidades específicas del paciente, ya sea para recuperar movilidad, desempeñar actividades de la vida en general u orientadas en realizar deportes como natación o de alto impacto, junto con esto se debe tener en cuenta las condiciones cognitivas y físicas del paciente previas a iniciar con el tratamiento y la elaboración de la prótesis (Stokosa, 2021).

Esto permite que cientos de personas que por alguna razón sufren o padecen de amputaciones de algunas de sus extremidades superiores o inferiores se vean sumamente beneficiadas al recibir una de estas prótesis, sin embargo estas se encuentran sumamente enfocadas en extremidades, dejando un poco de lado las prótesis de cuerpo completo, por lo que no hay muchos estudios o avances que comprueben los beneficios de implementar una prótesis de cuerpo completo en pacientes que sufran de algunas patologías más avanzadas como la paraplejía o la hemiplejía.

Sin embargo, en el año 2017 se realizó una investigación gracias a la cual se sabe que las prótesis Exo-esqueléticas sirven en la rehabilitación física de los miembros inferiores en niños pequeños que sufrieron de derrames cerebrales, gracias a sus componentes mecánicos, electrónicos, y micro programables junto con un buen sistema software (Merchán, 2017).

Cabe aclarar que esto se probó en niños de 2 a 4 años y se logró el movimiento de las articulaciones de la rodilla gracias a la implementación de cuatro actuadores que cuentan con microcontroladores que le otorgan la movilidad y correcta coordinación, considerando ciertas variables como la velocidad del movimiento, área a la cual se

le desea dar movilidad para que el trabajo de rehabilitación sea el óptimo para el paciente (Merchán, 2017).

Este mismo principio de movilidad del Exo-esqueleto implementado en el estudio de Merchán (2017) sería la base para desarrollar Exo-esqueletos para aquellas personas que sufrieron de lesiones medulares de alto impacto (Paraplejia o Hemiplejia) implementado este mecanismo de movilidad en aquellas extremidades y articulaciones a las cuales se les desea otorgar movilidad dependiendo del paciente, su estado cognitivo y tomando otras tantas variables como peso, edad, estatura, nivel de la lesión y complejidad de la misma, que no se tuvo la necesidad de tener en cuenta en el estudio de Merchán (2017).

## 7 METODOLOGÍA

La metodología en que se ordena este trabajo es de tipo descriptivo, debido a que se propone a describir de modo sistemático las características de una población, situación o área de interés, (Tamayo módulo 2) y en este caso se busca describir las características de las lesiones y sus tratamientos para de esa manera establecer las propiedades con las que debe contar la prótesis Exo-esquelética.

Etapas de investigación:

1. Definir en términos claros y específicos las características que se desean describir, Para esto se realizó una previa investigación en la cual se aclaran términos y factores para tener en cuenta en la elaboración del proyecto de investigación

2. Expresar los datos obtenidos en la bibliografía, además de organizarlos de tal forma que sean claros y preciso para dar entendimiento a la información presentada para ello se decidió realizar una serie de tablas donde se colocan los datos más relevantes obtenidos en la investigación elaborada y descrita en el punto 1
  
3. Recoger los datos y agruparlos de manera eficaz implementando 3 diferentes tablas donde expresan y agrupa todos los datos relevantes y necesarios en esta investigación, como las terapias, mecanismos de lesión y más términos importantes.
  
4. Informar adecuadamente los resultados mediante texto el cual aclara y define todo elaborado y descubierto en el proyecto de investigación.

## 7.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS REALIZADOS

En cuanto a los procesos que se realizaron a lo largo de este trabajo, se realizó un proceso investigativo y comparativo en donde se tomaron varios textos como referencia buscando en estos establecer claridad sobre el tema de las lesiones medulares, sus tipos y mecanismos de lesión y junto a estos las terapias más comunes para esta lesión, teniendo esto se llevó a cabo la elaboración de diversas tablas en donde se hace una relación directa de las lesiones, sus mecanismos de lesión y terapias, la eficiencia de las terapias y con base en esto se establecieron las características de la prótesis más pertinentes para el paciente dependiendo los diversos factores ya mencionados como el tipo de lesión y sus necesidades.

## 8 Resultados

En esta sección de la investigación se plasman los resultados de la investigación y comparación directa de las lesiones, sus mecanismos y terapias para ello se elaboraron 3 tablas diferentes en donde cada una aborda, compara y relaciona diversos factores fundamentales en la investigación.



Tabla 1. Los mecanismos y tipos de terapias en las lesiones medulares.

TIPO DE LESIÓN	MECANISMO DE LESIÓN	TERAPIA
<p>Lesión medular caracterizada por sufrir de isquemia, señalización proapoptótica e infiltración de células inflamatorias periféricas</p> <p>(Eckert, M. J., &amp; Martin, M. J.)</p>	<p>Esta lesión puede estar causada por un aplastamiento (Barranco F, Blasco J, Mérida A)</p> <p><i>Nota.</i> Observar la Ilustración 6 (pg. 20)</p>	<p>Terapia neuro protectora con descompresión quirúrgica con riluzol, minociclina, magnesio, hipotermia terapéutica y drenaje LCR (Eckert, M. J., &amp; Martin, M. J.)</p>
	<p>También se pueden identificar lesiones por deslizamiento de las vértebras (Barranco F, Blasco J, Mérida A)</p> <p><i>Nota.</i> Observar la Ilustración 3 (pg. 18)</p>	<p>Descompresión quirúrgica, Cethrin, Anticuerpos anti-NOGO (Eckert, M. J., &amp; Martin, M. J.)</p>

	<p>Otra causa de este tipo de lesión es por medio de una torsión en la columna vertebral (Barranco F, Blasco J, Mérida)</p> <p><i>Nota.</i> Observar la Ilustración 3 (pg. 18)</p>	<p>Aumento de la presión arterial junto con medicamentos como Metilprednisolona. (Eckert, M. J., &amp; Martin, M. J.)</p>
<p>Fracturas de los arcos del atlas, ensancha el canal medular lo que puede evitar un posible daño neurológico a largo plazo, pero puede ocasionar microhemorragias en la médula alta (C2) (Barranco F, Blasco J, Mérida A)</p>	<p>Traumatismo Axial sobre el vértex craneal, en conjunto con otros mecanismos traumáticos de flexión y rotación de la cabeza (Barranco F, Blasco J, Mérida A)</p> <p><i>Nota.</i> Observar Ilustración 2 (pg. 18)</p>	<p>Resonancia magnética no invasiva con electrofisiología y morfometría histológica (Jared T. Wilcox, Kajana Satkunendrarajah, 2017)</p>
<p>Fractura de luxación también conocida como fractura del ahorcado C2-C3. Origina una fractura de los pedículos del axis, lesión de las arterias vertebrales y compresión medular.</p>	<p>Causada por tracción e hiperextensión sufridos principalmente en la parte superior de la medula congruentes con pacientes de intento de suicidio mediante el ahorco, aunque también se puede</p>	<p>Descompresión quirúrgica, Cethrin, Anticuerpos anti-NOGO (Eckert, M. J., &amp; Martin, M.J.)</p>

<p>(Barranco F, Blasco J, Mérida A)</p>	<p>observar en accidentes vehiculares donde cara y barbilla chocan con el volante, con diferencia de que al quedar en una posición estática se reduce el daño neurológico y vascular esto debido a que al quedar estático después del golpe hay una menor tracción (Barranco F, Blasco J, Mérida A).</p> <p><i>Nota.</i> Observar Ilustración 4 (pg. 19)</p>	
<p>Lesiones medulares entre C5 y C7 Se relacionan con dolor cervical crónico y contractura muscular, aunque en algunos casos pueden producirse roturas ligamentosas y capsulares que determinan luxaciones uní o bilaterales de las articulaciones interapofisarias y lesión predominantemente radicular o medular.</p>	<p>Estas lesiones normalmente se dan debido a lesiones de hiperflexión de la médula espinal, aunque se puede llegar a juntar con un mecanismo de lesión como la rotación que desemboca en las roturas ligamentosas, también hay que tener en cuenta que aquellos pacientes con enfermedad degenerativa previa son más</p>	<p>Terapia neuro protectora con descompresión quirúrgica como riluzol, minociclina, magnesio, hipotermia terapéutica y drenaje LCR (Eckert, M. J., &amp; Martin, M. J.)</p>

(Barranco F, Blasco J, Mérida A)	susceptibles a sufrir este tipo de lesión (Barranco F, Blasco J, Mérida A)  <i>Nota.</i> Observar Figura 2 y 4 (págs. 18 y 19)	
----------------------------------	---	--

*Tabla 1. Los mecanismos y tipos de terapias en las lesiones medulares.*

En esta tabla se plasmó de manera organizada y relacionando de manera directa los tipos de lesión, los mecanismos de la misma, y la terapia que se suele utilizar en estas lesiones, un claro ejemplo de esta relación directa plasmada en la tabla se observa cuando se expresa que una lesión medular que es caracterizada por sufrir de isquemia, señalización proapoptótica e infiltración de células inflamatorias periféricas suele ocurrir comúnmente por un mecanismo de lesión de aplastamiento y la terapia que es más utilizada en esta lesión es una terapia neuro protectora con descompresión quirúrgica como riluzol, minociclina, magnesio, hipotermia terapéutica y drenaje.

Tabla 2. Necesidades y dificultades que presentan los pacientes con LM.

TERAPIA	EFICIENCIA	
	NECESIDADES	DIFICULTADES
Terapia neuro protectora con descompresión quirúrgica como riluzol, minociclina, magnesio, hipotermia terapéutica y drenaje LCR (Eckert, M. J., & Martin, M. J.)	Movilidad de extremidades afectadas	Extenso tiempo de Recuperación
Descompresión quirúrgica, Cethrin, Anticuerpos anti-NOGO (Eckert, M. J., & Martin, M. J.)	Manejo voluntario del esfínter y necesidades fisiológicas	Alta probabilidad de sufrir infecciones
Aumento de la presión arterial junto con medicamentos como Metilprednisolona. (Eckert, M. J., & Martin, M. J.)	Eficacia de los medicamentos a la hora de llevar a cabo el tratamiento	Posibles alergias o condiciones adversas ocasionadas por el tratamiento

<p>Resonancia magnética no invasiva con electrofisiología y morfometría histológica</p> <p>(Jared T. Wilcox, Kajana Satkunendrarajah, 2017)</p>	<p>Solventar las microhemorragias sin ver afectado el estado neurológico actual</p>	<p>Incrementar de manera accidental el sangrado, daño permanente en vasos sanguíneos o infección del sitio donde se vio utilizado el catéter</p>
<p>Descompresión quirúrgica, Cethrin, Anticuerpos anti-NOGO (Eckert, M. J., &amp; Martin, M. J.)</p>	<p>Manejo voluntario del esfínter y necesidades fisiológicas</p>	<p>Alta probabilidad de sufrir infecciones</p>
<p>Terapia neuro protectora con descompresión quirúrgica como riluzol, minociclina, magnesio, hipotermia terapéutica y drenaje LCR (Eckert, M. J., &amp; Martin, M. J.)</p>	<p>Movilidad de extremidades afectadas y correcta cicatrización y recuperación en las roturas de los ligamentos</p>	<p>Efectos adversos o de alergias a los tratamientos junto con la destrucción de neuronas o células de recuperación ocasionadas por la mal implementación de la hipotermia terapéutica</p>

Tabla 2. Necesidades y dificultades que presentan los pacientes con LM.

En esta segunda tabla se procedió a establecer la eficiencia de la terapia de cada lesión en cuanto a las necesidades que tiene el paciente y las dificultades que puede llegar a presentar el mismo, y tomando como ejemplo que para una terapia neuro protectora con descompresión quirúrgica el paciente suele tener complicaciones en cuanto al tiempo de recuperación ya que es muy elevado a la hora de recobrar algo de movilidad, si es que lo logra y tiene también riesgo de sufrir infecciones, debido al hecho de no tener un manejo voluntario de su esfínter y necesidades fisiológicas.

Tabla 3. Características de las prótesis para personas con LM.

EFICIENCIA		CARACTERÍSTICAS		
NECESIDADES	DIFICULTADES	DISEÑO	SOFTWARE	MATERIALES
-Movilidad de extremidades afectadas  - Manejo voluntario del esfínter y necesidades fisiológicas	- Extenso tiempo de Recuperación  - Alta probabilidad de sufrir infecciones	- Exoesqueleto rígido que abarque la mayor parte de las extremidades del paciente.  -Facilidad en la elaboración de manera	Programación variable con diversos lenguajes de programación como C++ o Matlab, que permitan abarcar desde diferentes ángulos	La elaboración de la prótesis debe contar con materiales compactos, resistente como acero quirúrgico y materiales hipoalergénicos con diversos elementos

- Eficacia de los medicamentos a la hora de llevar a cabo el tratamiento	- Posibles alergias o condiciones adversas ocasionadas por el tratamiento	que no obstruya sus genitales  - Elaborar la prótesis con materiales hipoalergénicos y de fácil acceso	todos los requerimientos de la prótesis	electrónicos integrados de manera eficaz que de una apariencia pulcra.
Solventar las microhemorragias sin ver afectado el estado neurológico actual	Incrementar de manera accidental el sangrado, daño permanente en vasos sanguíneos o infección del sitio donde se vio utilizado el catéter	Elaboración del marco de manera tal que sea redondo y sin bordes filosos que puedan contribuir al incremento de las microhemorragias del paciente	Elementos electrónicos programados de manera tal que detecten inconsistencias en el paciente (detecte las microhemorragias o posibles sangrados)	Acero quirúrgico de alta resistencia soldado en diversos puntos de anclaje para dar mayor soporte y de manera tal que no queden los bordes o puntas previamente mencionados



Manejo voluntario del esfínter y necesidades fisiológicas	Alta probabilidad de sufrir infecciones	Facilidad en la elaboración de manera que no obstruya sus genitales	Sistemas de monitoreo que alerten al cuidador en caso de que el paciente no logre controlar su esfínter	Materiales hipoalergénicos y de absorción rápida e inolora, intercambiables en caso de que el paciente sufra de problemas en el control de su esfínter
Movilidad de extremidades afectadas y correcta cicatrización y recuperación en las roturas de los ligamentos	Efectos adversos o de alergias a los tratamientos junto con la destrucción de neuronas o células de recuperación ocasionadas por la mal implementación de la hipotermia terapéutica	Exoesqueleto rígido que abarque la mayor parte de las extremidades del paciente.	Sistemas de control de temperatura del paciente con variación adaptable según las necesidades fisiológicas del paciente	Acero quirúrgico y elementos electrónicos de primera

Tabla 3. Características de las prótesis para personas con LM.

En esta tercera y última tabla que se realizó se establecieron las principales características de software y diseño con las que debe contar la prótesis para solventar las necesidades y mitigar las dificultades del paciente, y continuando con el ejemplo de aquel paciente cuya lesión medular que es caracterizada por sufrir de isquemia, y que suele ocurrir comúnmente por un mecanismo de lesión de aplastamiento en donde se utiliza la descompresión quirúrgica, se estableció que la prótesis debe contar con un exoesqueleto rígido que abarque la mayor parte de las extremidades del paciente, debe contar con una programación variable con diversos lenguajes de programación como C++ o Matlab, que permitan abarcar desde diferentes ángulos todos los requerimientos de la prótesis y en materiales compactos, resistente como acero quirúrgico y materiales hipoalergénicos con diversos elementos electrónicos integrados de manera eficaz que de una apariencia pulcra. Esto con la finalidad de solventar la necesidad del rango de movilidad y mitigar el riesgo de infecciones por su nula capacidad de controlar el esfínter.

La elaboración de estas tablas arrojó como resultados que, para una lesión a nivel medular que se caracteriza en la mayoría de los casos por sufrir de isquemia, señalización proapoptótica e infiltración de células inflamatorias periféricas, ocasionada por mecanismos de lesión tales como Aplastamiento, Deslizamiento y torsión (Figuras 6 y 3), las propiedades de la prótesis para un paciente con este tipo de lesión en específico debe ser elaborada de manera tal que se recubra todas sus extremidades y le otorgue estabilidad y soporte.

Esto juntándolo con una implementación de un muy buen sistema de programación con diversos lenguajes de programación que abarque una combinación amplia de programas tales como C++, Matlab, y programas de uso industrial que, en conjunto de materiales reforzados como el acero quirúrgico y materiales hipoalergénicos, le permitan al paciente un mayor rango de movilidad de las extremidades afectadas.

Por otro lado, para un paciente cuya lesión es ocasionada por un mecanismo de Flexión-rotación (Figura 2), y que genera múltiples fracturas de los arcos del atlas y ensancha el canal medular ocasionando microhemorragias en la médula alta, su prótesis debería ser elaborada en acero quirúrgico redondeado con diversos puntos de anclaje y sin puntas o bordes que contribuyan a agravar las microhemorragias ocurridas en la lesión.

Mientras que para un paciente que sufre la también conocida “Fractura del ahorcado” causada en gran parte por un mecanismo de hiperextensión en la columna (Figura 4), su prótesis debería ser elaborada con materiales hipoalergénicos, de gran absorción, intercambiables y lavables que junto con un sistema de alarma y monitoreo, le permitan al paciente tener un poco más de control de su esfínter, y facilitar la labor del cuidador en caso de que no sea posible para el paciente controlar su esfínter.

Por último, para aquellas personas que sufren de una lesión medular a nivel de C5 y C7 causadas por una Hiperextensión combinada con flexión-rotación (Figuras 2 y 4) y que desencadena en dolor cervical crónico acompañado de contractura muscular, y que puede llegar a producir roturas ligamentosas y capsulares. Su prótesis debe ser elaborada en acero quirúrgico con altos y complejos elementos electrónicos previamente programados con una temperatura variable según lo elija el paciente o cuidador, de manera tal que esta prótesis abarque la mayor parte de sus extremidades y le brinde gran soporte y confort para tener un mejor control de sus roturas ligamentosas, y reducir al máximo las posibilidades de incrementar o agravar estas roturas.

## 9 CONCLUSIONES

- Con la elaboración de este proyecto de investigación se logró identificar de manera eficaz los mecanismos de lesión más comunes, tipificándolos de manera óptima para comprender las consecuencias de la lesión y las necesidades del paciente.
- Es necesario conocer a profundidad la lesión medular sufrida por el paciente, esto permitirá reconocer de mejor manera las necesidades de este para con esto plantear las propiedades más óptimas en cuanto a la elaboración de la prótesis y lograr solventar estas necesidades.
- Se logro concluir que hay un total de 5 terapias trabajadas en este proyecto de investigación, como la descompresión quirúrgica con cethrin, la descompresión quirúrgica con riluzol, el aumento de la presión arterial con medicamentos, resonancia magnética no invasiva, y la implementación de anti cuerpos anti-NOGO las cuales son utilizadas dependiendo del mecanismo traumático de la lesión y la zona en donde se produce el incidente, sin embargo, es de vital importancia que se lleve a cabo un tratamiento precoz cuando se sufre de una lesión medular.

## 10 Bibliografía

- Ahuja, C. S., Nori, S. M., Tetreault, L. M., Wilson, J. M., Kwon, B. M., Harrop, J. M., . . . Fehlings, M. G. (2017). Traumatic Spinal Cord Injury—Repair and Regeneration. *Neurosurgery*, S9-S22.
- Deng, A. W. (2004). Academic journal of the first medical college of PLA . 706-710.
- Eliezer Sidon, M. S. (2018). Gender Differences in Spinal Injuries: Causes and Location of Injury. *Journal of Women's Health*, 945-951.
- F. BARRANCO RUIZ, J. B. (s.f.). *UNINET*. Obtenido de <https://www.uninet.edu/tratado/c110604.html>
- Hopkins, B. S. (2019). Impact of CrossFit-Related Spinal Injuries. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*,. 482-485.
- Jared T. Wilcox, K. S. (2017). Generating level-dependent models of cervical and thoracic spinal cord injury: Exploring the interplay of neuroanatomy, physiology, and function. *Neurobiology of Disease*, 194-212.
- Jiménez-Ávila JM, Á.-G. J. (14 de 02 de 2012). *medigraphic*. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/ortope/or-2012/or121c.pdf>
- Klose, K. J., & Ayyar. (1990). Rehabilitation therapy for patients with long-term spinal cord injuries. *Archives of physical medicine and rehabilitation*,, 659-662.
- Matthew J. Eckert, M. J. (2017). Trauma: Spinal Cord Injury. *Surgical Clinics of North America* 97, 1031-1045.
- Maxime Boutry, S. M. (2019). Update on the Genetics of Spastic Paraplegias. *Current Neurology and Neuroscience Reports* 19, 18.
- Núñez Franco, K. J. (20 de 03 de 2017). Análisis y diseño de un prototipo de exoesqueleto para la rehabilitación pediátrica de los miembros inferiores, utilizando sistemas embebidos para el control del sistema y la interfaz de usuario. *Trabajos de Titulación - Carrera de Ingeniería Electrónica en Control de Automatismo*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- OMS. (19 de 11 de 2013). *Organizacion mundial de la salud* . Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>
- profesionales., M. M. (s.f.). *MSD*. Obtenido de <https://www.msdmanuals.com/esco/professional/temas-especiales/miembro-prot%C3%A9sico/opciones-para-las-pr%C3%B3tesis-de-los-miembros>
- S Knútsdóttir, H. T. (27 de 09 de 2012). spinal cord. *spinal cord*, 123-126 .
- Ziya YURTAL, M. E. (2020). Investigation of Neuroprotective and Therapeutic Effects of Hesperidin in Experimental Spinal Cord Injury. *Turkish neurosurgery*, 899-906.