



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,  
VINCULACIÓN Y POSGRADO  
DIRECCIÓN DE POSGRADO

Terapia oclusiva para la recuperación de masa muscular post-lesión.

Trabajo de titulación para optar por el título de  
Magíster en Fisioterapia y Rehabilitación mención Terapia Inclusiva e  
Integral

AUTOR:

Ramos Mayancela, Franklin Alexis

TUTORA:

Lcda. Alvarez Carrión Sonia Alexandra, Mgs.

Riobamba, Ecuador. 2026



## DECLARATORIA Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA

De mi consideración:

Yo, Franklin Alexis Ramos Mayancela, con número único de identidad No. 0604548578, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: "Terapia oclusiva para la recuperación de masa muscular post-lesión". Previo a la obtención del grado de: Magister en Terapia y Rehabilitación mención Terapia Inclusiva e Integral:

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido Trabajo de Titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, 1 de abril de 2026

Atentamente,



Franklin Alexis Ramos Mayancela

CI: 0604548578



## ACTA DE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

En la ciudad de Riobamba, a los 27 días del mes de marzo del año 2026, los miembros del Tribunal designado por la Comisión de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo, reunidos con el propósito de analizar y evaluar el Trabajo de Titulación bajo la modalidad Proyecto de titulación con componente investigación aplicada y/o desarrollo, CERTIFICAMOS lo siguiente: Que, una vez revisado el trabajo titulado: "TERAPIA OCLUSIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE MASA MUSCULAR POST-LESIÓN perteneciente a la línea de investigación: Salud, presentado por el maestrante Ramos Mayancela Franklin Alexis, portador de la cédula de ciudadanía No. 0604548578 estudiante del programa de Maestría en Magíster en Fisioterapia y Rehabilitación con Mención en Terapia Inclusiva e Integral, se ha verificado que dicho trabajo cumple al 100% con los parámetros establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Es todo cuanto podemos certificar, en honor a la verdad y para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
SONIA ALEXANDRA  
ALVAREZ CARRIÓN

Validar únicamente con FirmaBC

Mgs. Sonia Alexandra  
Alvarez Carrión

**TUTORA**



Firmado electrónicamente por:  
MARIA BELEN PEREZ  
GARCIA

Validar únicamente con FirmaBC

Mgs. María Belén  
Pérez García

**MIEMBRO DEL  
TRIBUNAL 1**



Firmado electrónicamente por:  
ANDREA CAROLINA  
CEVALLOS TENEDA

Validar únicamente con FirmaBC

Mgs. Andrea Carolina  
Cevallos Teneda

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL  
2**



Riobamba, 25 de marzo de 2026

# CERTIFICADO

De mi consideración:

Yo Sonia Alexandra Alvarez Carrión, certifico que Franklin Alexis Ramos Mayancela con cédula de identidad No. 0604548578 estudiante del programa de Maestría en Fisioterapia y Rehabilitación mención Terapia Inclusiva e Integral , cohorte cuarta, presentó su trabajo de titulación bajo la modalidad de Proyecto de titulación con componente de investigación aplicada/desarrollo denominado: “Terapia oclusiva para la recuperación de masa muscular post-lesión”, el mismo que fue sometido al sistema de verificación de similitud de contenido COMPILATIO identificando el 0% de similitud en el texto y el 9% en texto generado por inteligencia artificial.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
**SONIA ALEXANDRA  
ALVAREZ CARRION**  
Validar únicamente con FirmaEC

Sonia Alexandra Alvarez Carrión

CI: 0918487257

Adj.-

- Resultado del análisis de similitud (Compilatio)

## **DEDICATORIA**

Dedicado al mundo de la ciencia que,  
históricamente, ha sido el que ha resuelto los  
grandes problemas de la humanidad

**Franklin Alexis Ramos Mayancela**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la estadística y probabilidad por haberme permitido sobrevivir a este mundo hasta este momento para intentar seguir sobreviviendo en un mundo que normalmente no es muy justo ni bueno.

**Franklin Alexis Ramos Mayancela**

## ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I .....	13
INTRODUCCIÓN .....	13
CAPÍTULO II .....	14
MARCO TEÓRICO .....	14
2.1 TERAPIA OCLUSIVA.....	14
2.1.1 FISIOLÓGÍA DE LA OCLUSIÓN SANGUÍNEA .....	15
2.1.2 HEMODINÁMICA DE LA OBSTRUCCIÓN VASCULAR .....	15
2.1.3 MECANISMOS DE MECANOTRANSDUCCIÓN Y VÍA mTORC1.....	17
2.1.4 DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE OCLUSIÓN ARTERIAL.....	18
2.1.5 EFECTOS SISTÉMICOS Y EL “CROSS-TRANSFER EFFECT” .....	20
2.1.6 RESPUESTAS VASCULARES Y DE PRESIÓN ARTERIAL .....	21
2.1.7 TIPOS DE MATERIALES Y ANCHO DEL MANGUITO .....	23
2.2 BASES ANATÓMICAS Y FISIOLÓGICAS DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO.....	24
2.2.1 ESTRUCTURA DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO.....	24
2.2.2 FISIOLÓGÍA DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR.....	25
2.2.3 TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES.....	26
2.3 LESIONES MUSCULARES.....	26
2.3.1 DEFINICIÓN.....	26
2.3.2 CLASIFICACIÓN.....	27
2.3.3 FISIOPATOLOGÍA DE LA ATROFIA MUSCULAR POST-LESIÓN.....	27
2.3.4 MECANISMOS DE INMOVILIZACIÓN Y DESUSO.....	28

2.3.5 SARCOPENIA SECUNDARIA A LA LESIÓN.....	28
2.4 PROCESO DE RECUPERACIÓN MUSCULAR.....	29
2.4.1 FASES DE CICATRIZACIÓN TISULAR.....	29
2.4.2 RECUPERACIÓN DE MASA MUSCULAR POST LESIÓN.....	30
2.4.3 FACTORES DE LA RECUPERACIÓN MUSCULAR.....	31
2.5 PROTOCOLOS DE EJERCICIO RECOMENDADOS PARA LA APLICACIÓN DE LA TERAPIA OCLUSIVA.....	32
2.6 ESCALAS DE MEDICIÓN DE FUERZA Y VOLUMEN MUSCULAR.....	33
CAPÍTULO III .....	36
METODOLOGÍA .....	36
3.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN .....	37
3.1.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....	37
3.1.2 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN .....	37
3.2 ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA .....	37
3.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN Y EXTRACCIÓN DE DATOS .....	37
3.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO (PRISMA) .....	39
CAPÍTULO IV .....	48
RESULTADOS .....	48
DISCUSIÓN.....	57
CAPÍTULO V .....	59
5.1 CONCLUSIONES .....	59
5.2 RECOMENDACIONES .....	60
BIBLIOGRAFÍA .....	61
ANEXOS .....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA N° 1: ARTÍCULOS CIENTÍFICOS CALIFICADOS SEGÚN LA ESCALA DE PEDRO.....</b>	<b>40</b>
<b>TABLA N° 2: ANÁLISIS DE LOS ARTÍCULOS CIENTÍFICOS .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA N° 1: OCLUSIÓN SANGUÍNEA.....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA N° 2: DIAGRAMA DE FLUJO (PRISMA).....</b>	<b>39</b>

## RESUMEN

La recuperación de la masa muscular tras una lesión es un proceso dinámico que hoy en día ha dejado atrás el concepto de reposo absoluto. La ciencia moderna a nivel global coincide en que, cuando se produce una lesión, el cuerpo tiende a "desconectar" el músculo afectado para protegerlo, lo que provoca una pérdida de tamaño y fuerza. La clave actual es mantener ese músculo activo sin sobrecargarlo. Se necesita también una técnica médica que ayude a recuperar la masa muscular perdida.

El trabajo llamado "Terapia Oclusiva para la recuperación de masa muscular post-lesión" se fundamentó en una búsqueda detallada de información, logrando seleccionar un total de 28 investigaciones de alto valor científico tras filtrar los documentos.

Este estudio usó un método inductivo para mostrar cómo la terapia oclusiva ayuda a recuperar la masa muscular después de una lesión, utilizando un enfoque cualitativo para analizar textos publicados por expertos en los últimos cinco años.

La terapia oclusiva es un tratamiento de fisioterapia que utiliza un torniquete para trabajar directamente sobre los músculos afectados a través de la manipulación del flujo sanguíneo, siendo una herramienta muy eficaz para recuperar la fuerza y tamaño muscular después de un proceso de daño tisular muscular. Esto ayuda a que el rehabilitado recupere su capacidad motora. Este debe combinarse con ejercicios de resistencia.

**Palabras Clave:** Terapia oclusiva, Terapia BFR, Modalidades de Fisioterapia, Sarcopenia.

## ABSTRACT

Muscle mass recovery following an injury is a dynamic process that has now moved beyond the concept of complete rest. Modern science worldwide agrees that, when an injury occurs, the body tends to “shut down” the affected muscle to protect it, leading to a loss of size and strength. The key today is to keep that muscle active without overloading it. A medical technique is also needed to help recover lost muscle mass. The study titled “Occlusive Therapy for Post-Injury Muscle Mass Recovery” was based on a detailed literature review, resulting in the selection of a total of 28 studies of high scientific value after filtering the documents. This study used an inductive method to demonstrate how occlusive therapy aids muscle mass recovery following injury, employing a qualitative approach to analyze texts published by experts over the past 5 years. Occlusive therapy is a physical therapy treatment that uses a tourniquet to directly manipulate blood flow to the affected muscles; it is a highly effective tool for restoring muscle strength and size following muscle tissue damage. This helps the patient regain their motor function. It should be combined with resistance exercises.

**Keywords:** Occlusive therapy, BFR therapy, Physical therapy modalities, Sarcopenia.



Reviewed by:  
Mgs. Hugo Romero  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C. 0603156258

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realizó recolectando datos de sitios web científicos muy confiables y respetados, con el fin de poner en evidencia el efecto recuperador de masa muscular de la Terapia oclusiva o también llamada Terapia de restricción de flujo sanguíneo (BFR)

Erickson, en Estados Unidos, en 2025, realizó un ECA incluyendo placebo para evaluar la eficacia de la terapia oclusiva en la recuperación de masa muscular después de una lesión de ligamento cruzado anterior. Los resultados de su experimento resultaron en la no diferencia significativa entre usar la terapia oclusiva en contraste con un tratamiento de rehabilitación normal. En Estados Unidos el “64% de los profesionales ya utilizan equipos de grado médico con una incidencia de efectos adversos graves de 0%” (Weatherholt, 2025).

Sorensen, en Dinamarca, en 2025, llevó a cabo un ECA que comparó dos tipos de ejercicio en personas con artrosis de rodilla: el ejercicio convencional frente al uso de pesas ligeras con terapia oclusiva. Nuevamente, se demostró que la terapia oclusiva es una herramienta superior para recuperar la función de la rodilla. En Europa hay “tasas de adherencia reportadas de hasta el 95.8%” (Technavio, 2026)

En Ecuador, los trastornos musculoesqueléticos representan una de las principales causas de discapacidad, con una prevalencia del 15.4% en la población activa (INEC 2024). En centros públicos se hace más de 1.2 millones de sesiones de rehabilitación anuales, pero la cobertura rural es insuficiente y los centros urbanos enfrentan saturación. Esta brecha genera esperas de hasta 45 días para iniciar protocolos post-quirúrgicos, evidenciando la necesidad urgente de optimizar los tiempos de recuperación funcional (MSP, 2023).

Cuando una zona del cuerpo se inmoviliza por una lesión, el organismo inicia un proceso de atrofia por desuso al notar que el músculo no está trabajando. “la inflamación local genera una resistencia química que impide que los nutrientes sean aprovechados correctamente por el tejido muscular afectado. Como resultado, se pierde volumen y fuerza de manera drástica, debilitando la protección de las articulaciones y retrasando la recuperación funcional completa” (Chen, 2025). El objetivo de este estudio es analizar los beneficios de terapia oclusiva en la recuperación de la masa muscular en pacientes post-lesión, mediante la recopilación bibliográfica.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Terapia Oclusiva

La Terapia Oclusiva o Terapia de restricción de flujo sanguíneo (BFR) es una modalidad clínica y de entrenamiento que “consiste en la aplicación de una presión externa mediante un manguito neumático (torniquete) en la región proximal de las extremidades” (Tortosa, 2022). Esto provoca la alteración de la perfusión del miembro tratado. Este fenómeno genera un ambiente de hipoxia muscular que intensifica el estrés metabólico, promoviendo el reclutamiento de unidades motoras de alto umbral (fibras tipo II) y estimulando la síntesis proteica incluso bajo condiciones de baja carga mecánica, lo que resulta fundamental para la recuperación de la masa y función muscular en contextos clínicos. (Weatherholt, 2025).

La efectividad de esta técnica radica en su capacidad para engañar al organismo mediante la creación de un estado de isquemia transitoria, el cual desencadena una respuesta biológica masiva que normalmente solo ocurriría tras un esfuerzo físico extremo. Investigaciones contemporáneas sugieren que la compresión externa no solo limita el oxígeno, sino que también provoca una edema celular agudo por la acumulación de fluidos intracelulares, lo que actúa como una señal de crecimiento para la célula muscular (Loenneke, 2010).

En el ámbito de la seguridad clínica y la fisiología del ejercicio, el análisis del sistema vascular es fundamental, destacando la presión de oclusión de la extremidad como el estándar principal para adaptar el tratamiento a cada individuo. El empleo de tecnología neumática con ajuste automático supera las limitaciones de las presiones estáticas, ya que facilita la determinación del nivel exacto de restricción arterial requerido, lo que reduce drásticamente la probabilidad de lesiones en los tejidos o complicaciones circulatorias. Gracias a estos avances, instituciones científicas de relevancia en norteamérica y el continente europeo han ratificado la eficacia de la técnica oclusiva no solo para el crecimiento muscular, sino también como una estrategia de precondicionamiento capaz de mitigar la degradación muscular y el daño por reperusión en pacientes que atraviesan etapas de inactividad forzada (Weatherholt, 2025).

### 2.1.1 Fisiología de la oclusión sanguínea



Figura N° 1: Oclusión sanguínea

Fuente: Instituto Cugat (2021), Blood Flow Restriction: Innovación en la rehabilitación y el entrenamiento muscular, <https://institutocugat.com/blog/general/blood-flow-restriction-innovacion-en-la-rehabilitacion-y-el-entrenamiento-muscular/>

La oclusión sanguínea provoca un conjunto de alteraciones sistémicas y locales. Estas ocurren cuando se interrumpe o restringe parcialmente el flujo de sangre a través de los vasos hacia un tejido específico. Al producirse este cierre, “...el tejido entra inmediatamente en un estado de isquemia, donde la ausencia de oxígeno (hipoxia) obliga a las células a abandonar su metabolismo aeróbico habitual para intentar sobrevivir mediante la glucólisis anaeróbica...” (Loenneke, 2010), lo que provoca una caída drástica del pH intracelular y una acumulación de iones de hidrógeno.

La detención del flujo altera la presión en los vasos y el intercambio de nutrientes en los capilares, provocando un estancamiento de sangre. Mientras la oclusión venosa causa congestión y edema, la arterial corta el suministro de oxígeno y glucosa al tejido. Esto dispara una cascada de estrés celular y sustancias oxidantes que ponen en riesgo la supervivencia de las células. Según el tiempo de duración, el cuerpo activará sistemas de defensa o se producirá la muerte del tejido afectado (Guyton, 2021).

### 2.1.2 Hemodinámica de la obstrucción vascular

La hemodinámica de la obstrucción vascular estudia cómo el flujo sanguíneo se adapta ante una restricción física, rigiéndose por leyes físicas donde la presión y la velocidad son inversamente proporcionales

Al reducirse el diámetro del vaso (estenosis u oclusión parcial), se genera un aumento drástico de la resistencia periférica, lo que provoca que la presión arterial antes del bloqueo (proximal) aumente significativamente, mientras que la presión después del bloqueo (distal) caiga de forma abrupta, comprometiendo la perfusión del tejido (Loenneke, 2010).

En cuanto a la velocidad, según el principio de Bernoulli, "...la sangre acelera su paso justo en el punto de máxima estrechez para intentar mantener el volumen de flujo..." (Scott, 2015), pero una vez superado ese punto, el movimiento se vuelve turbulento, perdiendo energía y formando remolinos que dificultan el avance lineal.

En el sistema venoso, esta obstrucción impide el retorno de la sangre al corazón, elevando la presión hidrostática capilar y forzando la salida de líquido hacia los tejidos, lo que explica la aparición de congestión y edema que caracterizan a los procesos de oclusión vascular (Guyton, 2021).

Esta alteración hemodinámica se intensifica debido a la viscosidad de la sangre y al fenómeno de distensibilidad vascular, donde el aumento de la presión proximal provoca que las paredes de las arterias se estiren, intentando compensar el volumen acumulado, mientras que el flujo turbulento generado tras la obstrucción golpea el endotelio con una fuerza de cizallamiento (shear stress) que activa respuestas inflamatorias locales (Loenneke, 2010).

A medida que la resistencia periférica se vuelve insostenible, el gradiente de presión necesario para mover la sangre desaparece, reduciendo drásticamente el flujo volumétrico (Ley de Poiseuille) y favoreciendo la formación de micro trombos por la estasis sanguínea prolongada. En el lecho capilar, la presión hidrostática elevada vence a la presión oncótica de las proteínas, lo que rompe el equilibrio de Starling y satura el sistema linfático, provocando que el edema no sea solo un síntoma, sino una barrera física que aumenta la distancia de difusión del poco oxígeno que aún llega al tejido (Laumonier, 2016).

Finalmente, esta congestión masiva de sangre desoxigenada altera el tono vascular a través de reflejos locales, provocando una vasodilatación refleja que, ante la persistencia de la oclusión, resulta ineficaz y acelera el fallo de la microcirculación en la zona afectada. El colapso micro circulatorio ocurre cuando la presión externa cierra los capilares, deteniendo el paso de sangre y oxígeno. Al no haber flujo, el endotelio se vuelve poroso y los desechos acumulados atrapan toxinas que irritan los nervios locales. Este

estancamiento corta el suministro energético y envía señales de alerta al sistema nervioso, preparando una respuesta inflamatoria inmediata (Weatherholt, 2025)

### **2.1.3 Mecanismos de Mecanotransducción y Vía mTORC1**

La mecanotransducción funciona como la primera señal biológica donde las células del músculo interpretan la presión del manguito como una orden para crecer. Al sentir el estiramiento y la compresión, los sensores de las células envían mensajes químicos que activan la fabricación de proteínas y la recuperación del tejido, logrando resultados de fortalecimiento sin necesidad de levantar pesas muy pesadas (Laumonier, 2016).

Este proceso se basa en proteínas llamadas integrinas, que actúan como sensores en la superficie de la célula para detectar la presión de la banda y el hinchazón causado por el cúmulo de sangre. Al percibir estos cambios físicos, envían una señal rápida al interior de la célula para activar la fabricación de nuevo tejido muscular (Scott, 2015).

“El núcleo de esta respuesta es la activación de la vía mTORC1, considerada el regulador maestro de la síntesis proteica, la cual responde a la liberación de ácido fosfatídico inducida por la presión...” (Pearson, 2015), ordenando a los ribosomas ensamblar nuevas fibras musculares de manera tan eficiente como si se estuviera levantando un peso máximo.

Al acelerar el trabajo de estas "fábricas" celulares, el cuerpo logra un balance positivo donde se crea más músculo del que se destruye, algo fundamental en pacientes lesionados que enfrentan una atrofia acelerada por el desuso. Además, mTORC1 no solo construye, sino que bloquea activamente las rutas de degradación proteica, blindando el tejido contra el desgaste típico del periodo de inmovilización postquirúrgica o traumática (Guyton, 2021).

Esta señal de reparación no desaparece al retirar la presión, sino que deja una huella metabólica que perdura por horas, permitiendo que la regeneración muscular continúe mucho después de finalizar la sesión de terapia.

Gracias a este proceso, la mecanotransducción se consolida como el mecanismo principal que explica por qué la oclusión protege y fortalece la estructura funcional de la extremidad afectada de forma segura y acelerada.

#### **2.1.4 Determinación de la Presión de Oclusión Arterial**

La determinación de la presión de oclusión arterial representa el estándar de oro en la seguridad y eficacia de la terapia oclusiva, ya que establece el límite exacto de presión necesario para detener por completo la circulación arterial en una extremidad específica (Laumonier, 2016).

A diferencia de los protocolos antiguos que utilizaban presiones arbitrarias o fijas para todos los pacientes, el cálculo de la presión reconoce que cada individuo posee una arquitectura vascular y muscular única, influenciada por factores como la circunferencia del miembro, la rigidez arterial, la presión arterial sistémica en reposo y la composición del tejido (grasa frente a músculo) (Loenneke, 2010).

Aplicar una presión excesiva sin conocer este valor puede derivar en daños neurológicos o vasculares severos, mientras que una presión insuficiente no lograría el ambiente de hipoxia necesario para activar las fibras tipo II y la cascada hormonal, dejando al paciente sin los beneficios de la terapia (Scott, 2015).

Por ello, la medición individualizada no es un paso opcional, sino el fundamento clínico que garantiza que el estímulo mecánico sea suficiente para la hipertrofia, pero seguro para la integridad del sistema circulatorio. Existen dos métodos principales para hallar este valor con precisión científica:

**- Ecografía Doppler:** El Método Doppler se considera la referencia manual más precisa, donde un profesional localiza el pulso de la arteria distal (como la pedia en la pierna o la radial en el brazo) y desinfla el manguito lentamente hasta que el sonido del flujo sanguíneo desaparece por completo; ese punto exacto marca el 100% de la presión del paciente (Laumonier, 2016).

- **Pletismografía en manguitos neumáticos automáticos:** Los sensores de pletismografía en manguitos inteligentes calculan de forma automatizada en pocos segundos la cantidad de presión, facilitando su uso en entornos clínicos de alta rotación. Esta tecnología representa un avance significativo, ya que permite detectar cambios en el volumen pulsátil de la extremidad mediante la monitorización de las oscilaciones de presión interna del brazalete. La pletismografía integrada actúa de forma interna y automática para calcular la Presión de Oclusión de la Extremidad sin necesidad de equipos externos adicionales en cada medición. Esto asegura que el dispositivo identifique con precisión el punto de oclusión total, permitiendo al clínico programar una restricción parcial segura y reproducible que minimiza el error humano y garantiza que el estímulo metabólico sea el adecuado para los objetivos de la terapia oclusiva. (Weatherholt, 2025)

Esta precisión es vital porque se ha demostrado que el ancho del manguito afecta directamente la presión requerida: un manguito más ancho necesita menos presión para ocluir la arteria en comparación con uno estrecho, lo que reduce el riesgo de lesiones localizadas en la piel o nervios superficiales bajo el dispositivo (Loenneke, 2010).

“Una vez obtenida la cantidad de presión para el miembro, la terapia no se aplica al 100% de ese valor, sino a un porcentaje específico denominado "presión de prescripción", que suele oscilar entre el 40% y el 50% para el brazo, y entre el 60% y el 80% para la pierna” (Patterson, 2019). Trabajar dentro de estos rangos asegura que el retorno venoso esté bloqueado mientras se mantiene una entrada de sangre arterial reducida, permitiendo que el músculo trabaje bajo un estrés metabólico controlado sin llegar a una isquemia total peligrosa. Este enfoque personalizado permite al fisioterapeuta o al médico tratante ajustar la intensidad de la oclusión conforme el paciente progresa en su rehabilitación o si presenta variaciones en su presión arterial diaria (Loenneke, 2010).

En definitiva, la determinación de la presión para la extremidad transforma una técnica de compresión empírica en una intervención médica precisa, minimizando el riesgo de eventos adversos como la trombosis venosa profunda y maximizando la ventana anabólica necesaria para revertir la atrofia muscular tras una cirugía o trauma severo (Scott, 2015)

### **2.1.5 Efectos Sistémicos y el "Cross-Transfer Effect"**

El fenómeno del "Cross-Transfer Effect" o educación cruzada, en el contexto de la terapia oclusiva, es uno de los descubrimientos más fascinantes de la neurofisiología moderna, ya que "...sugiere que el entrenamiento de una extremidad puede transferir ganancias de fuerza y masa muscular a la extremidad contralateral que permanece en reposo" (Patterson, 2019).

Este efecto se basa en la plasticidad del sistema nervioso central; cuando realizamos un ejercicio bajo terapia oclusiva, la demanda neuronal para reclutar fibras musculares bajo condiciones de fatiga extrema no se limita a los circuitos locales de la médula espinal, sino que genera una irradiación de impulsos eléctricos hacia el hemisferio cerebral opuesto a través del cuerpo calloso (Pearson, 2015).

Esta "fuga" de señales motoras aumenta la excitabilidad de la corteza motora primaria encargada de la extremidad no entrenada, mejorando la eficiencia del reclutamiento de unidades motoras y la sincronización de las fibras musculares, incluso sin que estas se contraigan físicamente (Scott, 2015).

Desde una perspectiva sistémica, la terapia oclusiva potencia este efecto gracias a la liberación de mensajeros químicos que viajan por todo el torrente sanguíneo, afectando positivamente a tejidos que no están bajo presión directa. Al generar un estrés metabólico intenso en una pierna, por ejemplo, el cuerpo dispara la producción de factores de crecimiento como la hormona de crecimiento (GH) y el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1), los cuales tienen una acción endocrina, es decir, circulan por todo el organismo. Estos agentes anabólicos encuentran receptores en los músculos de la extremidad opuesta, ayudando a frenar la degradación de proteínas (proteólisis) que ocurre durante la inmovilización. Para un paciente que tiene una pierna enyesada o tras una cirugía de ligamento cruzado anterior, entrenar la pierna sana con oclusión puede ser la clave para reducir hasta en un 50% la atrofia del miembro lesionado (Patterson, 2019).

Investigaciones recientes, como la de Yang y Weatherholt en 2025, han demostrado que el beneficio no es solo muscular, sino también vascular y neural. La técnica induce una respuesta de los quimiorreceptores que eleva el tono simpático, mejorando la capacidad del sistema nervioso para manejar el estrés.

Asimismo, el estado de hipoxia periférica inducido por la compresión neumática activa señales neuroendocrinas que el sistema nervioso central procesa como una demanda de restauración sistémica, favoreciendo potencialmente la mineralización ósea y el fortalecimiento de los tejidos conectivos en todo el organismo. Desde una perspectiva clínica, la terapia oclusiva trasciende el fortalecimiento segmentario para consolidarse como una herramienta de alcance global; esta es capaz de preservar la competencia motriz y la salud metabólica en sujetos con inmovilización prolongada, asegurando la funcionalidad del paciente mientras se completa el proceso biológico de reparación en el área afectada (Chen, 2025).

### **2.1.6 Respuestas Cardiovasculares y de Presión Arterial**

El empleo de la terapia oclusiva desencadena ajustes cardiovasculares agudos con propiedades hemodinámicas distintivas, las cuales divergen de manera sustancial de las respuestas observadas en el entrenamiento convencional de cargas elevadas. Esta modalidad se distingue primordialmente por inducir una elevación del gasto cardíaco que, aunque significativa para promover adaptaciones fisiológicas, se mantiene bajo rangos de control estrictos que garantizan la seguridad del paciente (Scott, 2015).

La aplicación de un brazalete neumático limita el flujo de retorno venoso, derivando en un secuestro hemático distal que reduce temporalmente el volumen de llenado ventricular o precarga. Ante esta disminución, el organismo activa de forma inmediata el sistema nervioso simpático como mecanismo compensatorio; esta respuesta autonómica induce un incremento de la frecuencia cardíaca significativamente superior al observado en ejercicios de baja carga sin restricción. Dicho ajuste cronotrópico resulta esencial para sostener la presión arterial sistémica y garantizar la perfusión de oxígeno hacia los órganos vitales, contrarrestando así la elevada resistencia periférica generada por la compresión mecánica del manguito (Yang, 2025).

Respecto al perfil tensional, la aplicación de la terapia oclusiva induce una elevación aguda de la presión arterial sistólica y diastólica mediada por el denominado reflejo muscular. Esta respuesta fisiológica es consecuencia directa de la acumulación de subproductos metabólicos, tales como lactato e hidrogeniones, los cuales activan los quimiorreceptores aferentes de los grupos III y IV; dichas señales aferentes desencadenan un ajuste autonómico central destinado a contrarrestar la resistencia mecánica impuesta

por el brazalete neumático. No obstante, es imperativo destacar que, al emplear protocolos basados en la presión de oclusión de la extremidad individualizada, los picos hipertensivos resultantes son significativamente inferiores a los observados en el entrenamiento de fuerza de alta intensidad tradicional. Esta característica posiciona a la terapia oclusiva como una alternativa terapéutica segura para individuos con compromiso cardiovascular compensado, siempre que medie una valoración clínica exhaustiva (Sorensen, 2025).

La integridad clínica del sujeto está supeditada a la monitorización rigurosa de los parámetros hemodinámicos, con el fin de prevenir una sobrecarga tensional desproporcionada en el ventrículo izquierdo. Un evento fisiológico determinante es la elevación de la resistencia vascular periférica total; al producirse la oclusión de diversos lechos vasculares, el miocardio debe ejercer una mayor fuerza contráctil para vencer la poscarga incrementada. En individuos con patologías preexistentes como hipertensión o insuficiencia cardíaca, este fenómeno debe gestionarse mediante el empleo de brazaletes de mayor anchura, los cuales facilitan la consecución del estímulo metabólico requerido utilizando presiones de inflado significativamente menores. Asimismo, la supervisión continua de la presión arterial sistólica durante las fases de recuperación es fundamental, ya que este seguimiento permite al profesional evaluar la tolerancia del sistema circulatorio ante la congestión persistente o el restablecimiento del flujo, garantizando que la intensidad del protocolo se mantenga dentro de los márgenes de seguridad biológica (Patterson, 2019).

Al concluir la intervención, la frecuencia cardíaca y la tensión arterial muestran una normalización acelerada tras la descompresión neumática, dando paso a un fenómeno de hiperemia reactiva caracterizado por un flujo sanguíneo transitorio de alta velocidad que facilita el aclaramiento de los subproductos metabólicos acumulados. Esta etapa final resulta fundamental para la integridad vascular, ya que el incremento en la fuerza de cizallamiento (*shear stress*) sobre el endotelio estimula la bioproducción de sustancias vasodilatadoras y protectoras. En síntesis, la monitorización hemodinámica durante la técnica oclusiva trasciende la simple prevención de riesgos; esta permite una dosificación precisa del estrés fisiológico, asegurando una eficiencia cardiocirculatoria óptima mientras el tejido muscular afectado recibe el estímulo trófico necesario para su regeneración y desarrollo funcional (Yang, 2025)

### **2.1.7 Tipos de Materiales y Ancho del Manguito**

La elección del instrumental para la terapia oclusiva trasciende el plano estético, constituyendo una variable crítica en la biofísica de la compresión y la preservación de la integridad del sujeto. La morfología del brazalete, centrada en su dimensión transversal y composición material, regula la transferencia de la presión hidrostática a través del tejido blando hasta el haz neurovascular profundo. En el ámbito clínico, los dispositivos de mayor anchura demuestran una eficacia superior, pues demandan una presión de inflado sustancialmente menor para alcanzar la oclusión arterial total frente a las variantes estrechas. Esta ventaja mecánica radica en que una superficie de contacto extendida optimiza la propagación de la fuerza, permitiendo colapsar los vasos principales con un gradiente tensional reducido, lo que minimiza el estrés mecánico innecesario sobre las estructuras circundantes (Patterson, 2019).

En contraste, los dispositivos de dimensiones reducidas focalizan el vector de fuerza en una superficie mínima, lo que exige presiones de inflado superiores para contrarrestar la resistencia de los tejidos blandos subyacentes, elevando así la incidencia de lesiones cutáneas localizadas o equimosis por compresión. En el ámbito de la ciencia de materiales, se ha transitado de los torniquetes elásticos rudimentarios hacia brazaletes de polímeros sintéticos de alta densidad, como el nailon balístico, que mantienen su estabilidad estructural bajo carga. Los compuestos elastoméricos o híbridos presentan una problemática crítica de variabilidad tensional; esto se debe a que la presión ejercida fluctúa de manera incontrolada en respuesta a la expansión volumétrica del músculo durante la contracción dinámica, fenómeno comúnmente asociado al edema muscular inducido por el ejercicio (Scott, 2015).

Aunque ciertos usuarios deportivos optan por brazaletes elásticos por su flexibilidad, en el contexto de la rehabilitación clínica se preconiza el uso de materiales inelásticos y sistemas neumáticos, debido a su capacidad para sostener una Presión de Oclusión de la Extremidad constante y reproducible bajo la supervisión de dispositivos automatizados. La arquitectura interna del manguito constituye un factor determinante; las tecnologías actuales incorporan cámaras de aire con diseño anatómico contorneado que se ajustan a la morfología cónica de los segmentos proximales, mitigando el riesgo de desplazamientos mecánicos o fricciones dérmicas durante las fases dinámicas del ejercicio. Esta estabilidad estructural resulta imperativa para asegurar la adherencia

terapéutica, especialmente en poblaciones clínicas con umbrales de dolor reducidos debido a procesos lesivos previos (Loenneke, 2010).

La tolerancia clínica del sujeto se encuentra estrechamente vinculada a la biofísica de las fuerzas de cizallamiento. El empleo de brazaletes de mayor anchura facilita una distribución de la carga mecánica sobre una superficie extensa, mitigando la percepción algica y la sensación de incisión tisular frecuentemente reportada con el uso de dispositivos de dimensiones reducidas o improvisados. Al disminuir la magnitud de la presión requerida para la oclusión, se reduce la activación de los nociceptores superficiales, lo que permite al paciente priorizar la ejecución técnica del protocolo sobre la sintomatología derivada del equipo. Asimismo, la morfología ancha previene la compresión focalizada y potencialmente lesiva de los troncos nerviosos periféricos, riesgo inherente a la aplicación de presiones elevadas sobre áreas mínimas. Desde la perspectiva de la eficacia terapéutica, la integración de sistemas de sensado automático y materiales de alta estabilidad estructural garantiza una dosificación constante del estímulo oclusivo, eliminando la variabilidad del error humano y optimizando los procesos de mecanotransducción necesarios para la regeneración y el trofismo muscular (Scott, 2015).

En última instancia, la configuración geométrica del dispositivo condiciona la respuesta hemodinámica sistémica del sujeto. Un brazalete con un ajuste anatómico preciso y una anchura optimizada previene la disipación de la fuerza tensional, asegurando un colapso venoso efectivo sin someter al sistema cardiovascular a presiones suprafisiológicas innecesarias. Las tecnologías de vanguardia integran mecanismos de acople seguro y válvulas de descompresión rápida, lo que incrementa los niveles de confianza clínica tanto para el terapeuta como para el usuario. En síntesis, la preeminencia técnica de los sistemas neumáticos anchos frente a los modelos elastoméricos o estrechos reside en su capacidad para inducir el estrés metabólico requerido con la mínima carga mecánica sistémica; esto salvaguarda la integridad de las estructuras neurovasculares mientras se optimiza la ventana de adaptación biológica para la hipertrofia y la restauración funcional del paciente (Pearson, 2015).

## **2.2 Bases anatómicas y fisiológicas del músculo esquelético**

### **2.2.1 Estructura del músculo esquelético**

El músculo esquelético es un tejido altamente organizado que exhibe una estructura jerárquica diseñada para la generación eficiente de fuerza. En el nivel macroscópico, cada músculo está rodeado por el epimisio, una capa de tejido conectivo denso que se continúa con los tendones. Internamente, el músculo se divide en fascículos envueltos por el perimisio, los cuales contienen grupos de fibras musculares individuales o miocitos. Cada fibra muscular está aislada por el endomisio y posee una membrana celular especializada denominada sarcolema. La arquitectura de estas fibras (paralelas, peniformes o fusiformes) es un factor crítico que determina la capacidad de acortamiento y la producción de tensión mecánica del músculo (Guyton, 2021).

En el nivel microscópico, el interior de la fibra muscular está ocupado por miofibrillas, las cuales son agrupaciones longitudinales de miofilamentos. La unidad funcional y estructural mínima de la contracción es el sarcómero, delimitado por dos discos Z. Esta estructura contiene los filamentos gruesos de miosina y los filamentos delgados de actina, cuya interacción bajo el modelo de filamentos deslizantes permite el acortamiento muscular. Para que este proceso ocurra, es indispensable el retículo sarcoplásmico, que actúa como reservorio de iones de calcio, y los túbulos T, que aseguran la propagación rápida del potencial de acción desde la superficie hasta lo profundo de la fibra para así lograr la contracción. Finalmente, la capacidad regenerativa del músculo reside en las células satélite, células madre miogénicas ubicadas entre el sarcolema y la lámina basal, que se activan tras un trauma mecánico o estrés metabólico para reparar el tejido dañado (Starding, 2020)

### **2.2.2 Fisiología de la contracción muscular**

La contracción del músculo esquelético es un proceso biológico que convierte señales eléctricas en movimiento mecánico mediante el deslizamiento de proteínas internas. Todo comienza cuando un impulso nervioso llega al músculo y provoca la liberación masiva de calcio desde el retículo sarcoplásmico hacia el interior de la célula. Este calcio actúa como una "llave" que desbloquea los sitios de unión en los filamentos de actina, permitiendo que las cabezas de la proteína miosina se enganchen firmemente a ellos (Guyton, 2021).

Una vez conectados, la miosina utiliza energía en forma de ATP para remar y desplazar los filamentos de actina hacia el centro, lo que acorta el sarcómero y genera la fuerza

muscular. Este ciclo de "enganche, tracción y liberación" se repite miles de veces mientras haya calcio y energía disponibles. Cuando el impulso nervioso cesa, el calcio es bombeado de nuevo a sus depósitos de almacenamiento, lo que provoca que las proteínas se separen y el músculo recupere su estado de relajación original (Schiaffino, 2011).

### **2.2.3 Tipos de fibras musculares**

Las fibras musculares esqueléticas se dividen principalmente en fibras de tipo I (lentas) y tipo II (rápidas), diferenciándose por su velocidad de contracción y el sistema energético que utilizan para funcionar. Las fibras tipo I son de color rojizo, ricas en mioglobina y mitocondrias, lo que las hace extremadamente resistentes a la fatiga e ideales para actividades de larga duración o mantenimiento de la postura. Por el contrario, las fibras de tipo II, que se subdividen en IIa (intermedias) y IIx (puramente rápidas), están diseñadas para generar una potencia explosiva y fuerza máxima en periodos cortos, aunque se agotan rápidamente al depender mayoritariamente del metabolismo glucolítico (Schiaffino, 2011)

Las fibras de tipo II son las que sufren una atrofia más severa tras una lesión o periodos de inmovilización prolongada. El uso de la terapia oclusiva permite, mediante el estrés metabólico, reclutar estas fibras de contracción rápida de manera anticipada sin necesidad de movilizar cargas pesadas que puedan dañar los tejidos en fase de cicatrización. Esta adaptación funcional es clave para preservar la masa muscular y acelerar la recuperación de la fuerza, permitiendo que el paciente recupere su capacidad funcional de forma segura y eficiente (Patterson, 2019).

## **2.3 Lesiones musculares**

### **2.3.1 Definición**

Las lesiones musculares se definen como daños o alteraciones estructurales en el tejido muscular esquelético, provocados generalmente por fuerzas mecánicas externas o contracciones intrínsecas excesivas que superan la capacidad de resistencia del tejido. Estas lesiones constituyen una de las causas más comunes de discapacidad física en el ámbito deportivo y clínico, variando desde microtraumatismos por sobrecarga hasta roturas completas del vientre muscular. Su impacto no es solo mecánico, sino que altera la homeostasis del tejido, desencadenando una respuesta inflamatoria inmediata necesaria para la posterior reparación o cicatrización (Brukner, 2017)

### **2.3.2 Clasificación**

Clínicamente, las lesiones se clasifican según su mecanismo de producción en indirectas (distensiones o desgarros por estiramiento excesivo) y directas (contusiones o laceraciones por impacto). La clasificación más utilizada para determinar el pronóstico se basa en la gravedad del daño fibrilar: el Grado I (leve) implica una distensión con daño microscópico sin pérdida de continuidad; el Grado II (moderado) presenta una rotura parcial de fibras con formación de hematoma y pérdida de fuerza; y el Grado III (grave) se define por la rotura total del músculo o la avulsión de su inserción. Comprender esta jerarquía es vital para tu tesis, ya que el momento de inicio de la terapia oclusiva dependerá de la estabilidad estructural del tejido según su grado de lesión (Laumonier, 2016)

### **2.3.3 Fisiopatología de la Atrofia muscular post-lesión**

Las lesiones miogénicas representan alteraciones en la integridad estructural de las fibras musculares, derivadas de mecanismos de tracción intrínseca o traumatismos directos que sobrepasan el umbral de tolerancia del tejido. Este fenómeno tisular desencadena una respuesta inflamatoria inmediata que altera la homeostasis local, siendo un precursor necesario para los procesos de reparación biológica. La correcta estadificación de esta patología es determinante para la programación de la rehabilitación mediante terapia oclusiva, ajustando la carga mecánica a la fase de estabilidad del tejido (Wall, 2013) .

La atrofia por desuso conlleva una transformación profunda del tejido muscular, caracterizada por la disfunción de las mitocondrias que, al fallar, liberan radicales libres que dañan el ADN y aceleran la muerte celular. Este proceso se manifiesta en una degradación selectiva de las fibras de contracción lenta y en la aparición de la sustitución fibroadiposa, un fenómeno donde el músculo es invadido por grasa y colágeno, perdiendo su elasticidad y capacidad de regeneración. Además, el deterioro de la microcirculación y la reducción de la densidad capilar limitan el suministro de nutrientes, lo que ralentiza la recuperación y crea un entorno químico que dificulta la reparación biológica (Bodine, 2013).

A nivel funcional, la pérdida de fuerza ocurre de forma mucho más acelerada que la reducción del volumen muscular, evidenciando un daño temprano en la conexión nerviosa

y en la calidad del tejido antes de que la atrofia sea visible. El músculo afectado desarrolla una resistencia a la insulina y a los aminoácidos, impidiendo que el organismo aproveche los nutrientes para reconstruir la masa perdida incluso con una dieta adecuada. Esta degradación masiva y el estado de "autodevoramiento" químico del músculo justifican el uso de la terapia oclusiva como un mecanismo de rescate metabólico para frenar la atrofia y potenciar la rehabilitación desde las fases iniciales de la lesión (Wall, 2013).

### **2.3.4 Mecanismos de inmovilización y desuso**

Los mecanismos de inmovilización y desuso desencadenan una respuesta adaptativa negativa inmediata que afecta la integridad del tejido muscular, caracterizada por una reducción drástica en la síntesis de proteínas y un aumento en su degradación. Este fenómeno es especialmente crítico durante las primeras dos semanas de inactividad, donde se pierde la mayor proporción de masa muscular debido a la disminución del estímulo mecánico, lo que inactiva vías de señalización anabólicas fundamentales. La inmovilización prolongada altera la arquitectura de las fibras, reduciendo el ángulo de penetración y la longitud de los fascículos, lo que disminuye la capacidad del músculo para generar tensión incluso antes de que la atrofia sea macroscópicamente evidente (Bodine, 2013).

A nivel funcional, el desuso prolongado provoca una desconexión en la eficiencia de la unidad motora, resultando en una pérdida de fuerza que supera proporcionalmente a la pérdida de masa magra. Este proceso se acompaña de una alteración en la homeostasis del calcio y una reducción en la densidad capilar, lo que limita el metabolismo oxidativo y favorece la transición de fibras hacia un perfil más fatigable. La comprensión de estos mecanismos es lo que justifica la intervención temprana con estrategias que simulen el estrés mecánico, como la terapia oclusiva, para mitigar el deterioro neuromuscular y facilitar una transición más rápida hacia la carga funcional completa durante la rehabilitación (Larsson, 2019).

### **2.3.5 Sarcopenia secundaria a lesión**

La sarcopenia secundaria a lesión se diferencia de la sarcopenia primaria (asociada al envejecimiento) por ser un proceso agudo y localizado, desencadenado por el cese repentino del estímulo mecánico y la inflamación sistémica tras un trauma. A diferencia de la pérdida gradual de masa muscular senil, la sarcopenia post-lesiva se caracteriza por

una degradación proteica acelerada donde la respuesta inflamatoria mediada por citocinas como el factor de necrosis tumoral alfa inhibe las vías anabólicas de la síntesis de proteínas. Este estado catabólico genera una pérdida crítica de unidades motoras y una reducción en la calidad del tejido muscular, lo que compromete la estabilidad articular y aumenta el riesgo de re-lesión durante la fase de carga funcional (Larsson, 2019).

En el contexto de la rehabilitación, este fenómeno se agrava por el desarrollo de una resistencia anabólica, donde el músculo se vuelve menos sensible a los aminoácidos y a las señales hormonales de crecimiento. Esta resistencia es el principal obstáculo para recuperar el volumen muscular perdido, ya que el tejido lesionado no responde con la misma eficiencia a los ejercicios convencionales de baja intensidad. Por esta razón, el uso de técnicas de estrés metabólico busca superar este umbral de resistencia, activando las células satélite y promoviendo la síntesis proteica sin necesidad de someter al músculo a fuerzas de tensión que podrían comprometer la cicatrización del tejido dañado (Bodine, 2013).

## **2.4 Proceso de recuperación muscular**

### **2.4.1 Fases de cicatrización tisular**

La cicatrización del músculo esquelético tras una lesión es un proceso biológico rítmico y traslapado que se divide tradicionalmente en tres fases críticas: destrucción, reparación y remodelación. La primera fase, o fase de destrucción, inicia inmediatamente después del trauma con la formación de un hematoma y una respuesta inflamatoria aguda, donde células como los macrófagos eliminan los restos de tejido necrótico. Simultáneamente, se activa la fase de reparación, alcanzando su punto máximo entre los 7 y 14 días; aquí, las células satélites se transforman en mioblastos para formar nuevas fibras musculares, mientras los fibroblastos sintetizan una matriz extracelular de colágeno que actúa como un "parche" provisional para recuperar la continuidad del tejido (Huard, 2002).

Finalmente, la fase de remodelación es la etapa más prolongada, pudiendo durar varios meses, y se caracteriza por la maduración de las nuevas fibras y la reorganización del tejido cicatricial. Durante este periodo, el colágeno desorganizado se sustituye por uno más resistente y se orienta según las líneas de tensión mecánica, lo que restaura la capacidad de contracción y la elasticidad del músculo. Es en esta transición de reparación a remodelación donde la aplicación de estímulos controlados, como el estrés metabólico,

resulta vital para asegurar que la cicatriz no se vuelva excesivamente rígida y que el músculo recupere su funcionalidad completa sin riesgo de una nueva rotura en la zona de unión (Laumonier, 2016) .

#### **2.4.2 Recuperación de masa muscular post-lesión**

Recuperar el músculo después de una lesión no es solo cuestión de que se vea más grande, sino de lograr que vuelva a funcionar, a tener una buena estructura y a producir energía correctamente. Cuando sufrimos un golpe, una cirugía o pasamos mucho tiempo sin movernos, el cuerpo empieza a destruir proteínas mucho más rápido de lo que puede fabricarlas. Esto hace que el músculo pierda grosor y, sobre todo, que pierda la fuerza necesaria para movernos con normalidad. Este proceso, llamado atrofia, no solo achica las fibras musculares, sino que también corta la "línea de comunicación" entre el cerebro y el músculo. Al dañarse esta conexión, los nervios ya no pueden enviar órdenes de forma coordinada, lo que hace que el músculo pierda su puntería y su capacidad para reaccionar a tiempo. Por eso, la rehabilitación debe enfocarse en arreglar tanto el tamaño del músculo como la calidad de su respuesta nerviosa para evitar que la debilidad se vuelva permanente (Bodine, 2013).

Por lo tanto, el objetivo primordial de la recuperación post-lesión es revertir este balance negativo y reactivar las vías anabólicas que permitan al organismo volver a ensamblar las proteínas contráctiles de actina y miosina, asegurando que el nuevo tejido sea capaz de soportar las demandas mecánicas de la vida diaria y el deporte (Laumonier, 2016).

Para que esta recuperación sea efectiva, el tejido debe transitar por una serie de etapas biológicas estrictamente coordinadas que comienzan con la fase inflamatoria, donde las células del sistema inmune limpian los detritos celulares del área dañada. Posteriormente, se activa la fase de proliferación, en la cual las células satélites (células madre musculares) migran hacia la zona de la lesión para fusionarse con las fibras existentes o formar nuevas fibras, un proceso que requiere de un entorno hormonal y nutricional óptimo. Sin embargo, el mayor desafío en la rehabilitación moderna es encontrar el estímulo adecuado para activar estas células sin estresar excesivamente la articulación o el tejido que aún está cicatrizando. Aquí es donde la síntesis proteica se vuelve el eje central: el músculo necesita señales de carga mecánica para activar la vía mTOR, pero tras una lesión, el

umbral de tolerancia al esfuerzo es muy bajo, lo que genera un dilema clínico sobre cómo fortalecer el músculo sin causar una recaída en la lesión original (Guyton, 2021).

La recuperación completa del músculo tras una lesión no consiste solo en recuperar su tamaño, sino en reorganizar su estructura interna para que el movimiento vuelva a ser eficiente. Esto incluye mejorar la inclinación de las fibras y la longitud de sus manojos (fascículos), que son los factores que realmente dictan cuánta fuerza puede hacer el cuerpo. No basta con que el músculo se vea más grande; es fundamental que el tejido nuevo tenga suficientes vasos sanguíneos y centrales de energía (mitocondrias) para que sea resistente y no vuelva a romperse al mínimo esfuerzo. Hoy entendemos que rehabilitar a un paciente es un juego de equilibrio: hay que proteger la zona lastimada, pero al mismo tiempo aplicar estímulos que "engañen" al metabolismo para que no deje de fabricar músculo. La finalidad es que la persona no solo recupere su aspecto físico, sino que vuelva a ser totalmente independiente y recupere la seguridad al mover su cuerpo. Así, la recuperación se completa de verdad, pasando de la reparación de las células al éxito en los movimientos del día a día (Bodine, 2013).

#### **2.4.3 Factores que influyen en la recuperación muscular**

La recuperación muscular tras una lesión es un proceso multicausal donde la nutrición y el flujo sanguíneo juegan roles determinantes para revertir el estado catabólico. Una disponibilidad adecuada de aminoácidos, especialmente de leucina, es esencial para reactivar la síntesis de proteínas a través de la vía mTOR, la cual suele estar inhibida durante la inmovilización. Asimismo, el aporte de micronutrientes antioxidantes ayuda a neutralizar los radicales libres producidos por la disfunción mitocondrial, protegiendo las membranas de las nuevas fibras en formación y acelerando el paso de la fase de inflamación a la de reparación (Brukner, 2017).

Por otro lado, la vascularización y el estrés metabólico local son factores críticos que dictan la velocidad de curación y la calidad del nuevo tejido. Un flujo sanguíneo eficiente garantiza el transporte de oxígeno y células progenitoras (células satélite) hacia el foco de la lesión, facilitando la limpieza de detritos celulares y la formación de una matriz extracelular organizada. En este sentido, la introducción de estímulos que incrementen el reclutamiento de fibras tipo II y mejoren la densidad capilar, incluso con cargas mecánicas bajas, permite que el músculo recupere su capacidad oxidativa y funcional sin exponer al tejido a tensiones que pongan en riesgo la cicatrización (Guyton, 2021).

## **2.5 Protocolos de ejercicio recomendados para la aplicación de la terapia oclusiva**

El diseño de los protocolos de ejercicio en la terapia oclusiva es el componente que traduce la respuesta fisiológica en resultados tangibles de hipertrofia y fuerza, diferenciándose drásticamente de los métodos de entrenamiento convencionales. “El estándar de oro reconocido por la comunidad científica internacional es el protocolo de 30-15-15-15 repeticiones, el cual se ejecuta con cargas extremadamente bajas, situadas entre el 20% y el 30% de la repetición máxima (1RM) del paciente” (Patterson, 2019).

Este volumen total de 75 repeticiones está diseñado específicamente para llevar al músculo a un estado de fatiga metabólica profunda en un ambiente de hipoxia; la primera serie de 30 repeticiones sirve para agotar las reservas de oxígeno y fosfocreatina, mientras que las tres series subsiguientes de 15 repeticiones obligan al cuerpo a reclutar las fibras musculares de contracción rápida (tipo II) para compensar el fallo inminente de las fibras lentas (Patterson, 2019).

Un elemento crítico que garantiza la efectividad de este protocolo es la gestión de los periodos de descanso, los cuales deben ser estrictamente de entre 30 y 60 segundos. A diferencia del entrenamiento tradicional donde el descanso busca la recuperación total, en la terapia oclusiva el manguito permanece inflado durante los intervalos de reposo (Loenneke, 2010).

“Esto tiene como objetivo impedir el lavado de metabolitos (lactato, iones de hidrógeno y fosfato inorgánico)” (Loenneke, 2010), manteniendo el "baño químico" anabólico sobre las células musculares durante toda la sesión. Si se desinflara el manguito entre series, se perdería el estrés metabólico acumulado, reduciendo significativamente la señal de crecimiento hacia la vía mTORC1 y la liberación de hormonas de crecimiento, lo que obligaría a aumentar la carga mecánica para obtener resultados similares, algo contraproducente en una fase de recuperación post-lesión (Loenneke, 2010).

En cuanto a la frecuencia y selección de ejercicios, la versatilidad de la terapia oclusiva permite su aplicación desde las fases más tempranas de la rehabilitación hasta el retorno al deporte. En pacientes con movilidad muy reducida, se puede iniciar con "ejercicios de oclusión pasiva" (inflado sin movimiento) para mitigar la atrofia, progresando

rápidamente a ejercicios isométricos y finalmente a movimientos dinámicos de cadena abierta o cerrada (Patterson, 2019).

La frecuencia recomendada suele ser de 2 a 3 sesiones por semana, aunque en etapas críticas de recuperación de masa muscular tras una cirugía, se han observado beneficios utilizando la técnica hasta una vez al día debido a que, al usar cargas tan ligeras, el daño estructural al tejido (microdesgarros) es mínimo y el tiempo de recuperación sistémica es corto (Pearson, 2015).

Hacer cada repetición a una velocidad controlada, tardando de 1 a 2 segundos tanto al subir como al bajar el peso, es clave para que el músculo trabaje todo el tiempo y no se use el impulso para compensar el cansancio. Al terminar el ejercicio, es muy importante quitar la presión de forma gradual y que el paciente haga movimientos suaves. Esto ayuda a que la sangre vuelva a circular normalmente y el músculo aproveche ese "golpe" de nutrientes y oxígeno que llega tras soltar la oclusión. Si se respetan estas reglas de peso, cantidad de repeticiones y descansos, la terapia de oclusión logra que el músculo crezca y se fortalezca casi igual que si se levantaran pesas muy pesadas. La gran ventaja es que es mucho más seguro para las articulaciones de alguien que está lastimado, permitiendo que se recupere y vuelva a sus actividades normales de forma rápida y basada en la ciencia (Patterson, 2019)

## **2.6 Escalas de medición de fuerza y volumen muscular**

La validación científica de la recuperación muscular tras una lesión exige el uso de herramientas de alta precisión que permitan cuantificar tanto los cambios estructurales como la capacidad funcional del tejido, siendo la ecografía y la dinamometría los pilares fundamentales en la investigación clínica contemporánea. La ecografía musculoesquelética se ha consolidado como el método preferido para medir la arquitectura muscular en tiempo real, debido a su capacidad para evaluar el grosor del músculo y el área de sección transversal sin someter al paciente a radiación (Laumonier, 2016).

La ecografía permite observar cambios en el ángulo de pennación y la longitud de los fascículos, parámetros que se alteran drásticamente durante la atrofia y cuya restauración indica una recuperación exitosa. Al evaluar la arquitectura muscular en tiempo real, el

clínico puede identificar la calidad del tejido mediante la eco-intensidad, diferenciando si el volumen ganado corresponde a fibras contráctiles reales o a infiltración de tejido graso y colágeno. Esta distinción garantiza que la técnica de oclusión esté generando una hipertrofia miofibrilar funcional y no simplemente un aumento de líquido intersticial (Scott, 2015).

Complementariamente, la dinamometría representa la evaluación de la "salud mecánica" del músculo, permitiendo medir la fuerza explosiva y la resistencia mediante dispositivos electrónicos que cuantifican el torque o la fuerza máxima generada durante una contracción. En el contexto de la rehabilitación post-lesión, la dinamometría isocinética es el estándar de oro, ya que evalúa la fuerza a una velocidad constante a lo largo de todo el rango de movimiento, lo que permite detectar déficits específicos en ángulos donde el músculo podría ser más vulnerable (Drouin, 2004).

Esta herramienta es crucial para calcular el índice de simetría entre la extremidad lesionada y la sana; se considera científicamente que un paciente ha regresado a su estado óptimo cuando la diferencia de fuerza entre ambos miembros es menor al 10%. La combinación de la ecografía, que mide "cuánto músculo hay", con la dinamometría, que mide "qué tan bien funciona ese músculo", elimina cualquier subjetividad en el progreso del paciente, proporcionando datos duros que respaldan la efectividad de la terapia oclusiva frente a los métodos convencionales (Impellizzeri, 2016).

Además, estas herramientas permiten realizar un seguimiento longitudinal que ayuda a ajustar la dosificación de la presión de oclusión de manera dinámica. Por ejemplo, si la ecografía muestra un aumento en la sección transversal pero la dinamometría refleja un estancamiento en la producción de fuerza, el terapeuta puede inferir una falta de sincronización neuronal o una inhibición artrogénica persistente, ajustando el protocolo hacia ejercicios más demandantes a nivel neuromuscular (Drouin, 2004).

La integración de estos métodos en el marco teórico de una investigación no solo otorga validez estadística a los resultados, sino que permite entender la cronología de la recuperación: usualmente, las mejoras en la arquitectura detectadas por ultrasonido preceden a las ganancias de fuerza máxima medidas por dinamometría (Loenneke, 2010).

En conclusión, el uso conjunto de estas tecnologías permite certificar que la recuperación ha sido integral, asegurando que el tejido muscular no solo ha recuperado su apariencia estética previa, sino que ha restablecido su densidad mitocondrial, su orientación fibrilar y su capacidad de respuesta ante cargas externas, minimizando el riesgo de futuras recaídas (Pillsbury, 2018).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

El presente trabajo es una investigación de tipo documental. Una revisión bibliográfica. Basada en la recopilación y análisis riguroso de artículos científicos provenientes de bases de datos y revistas especializadas. Posee un diseño longitudinal que permite examinar datos cualitativos y cuantitativos recolectados en distintos periodos de tiempo para comprender la evolución de los pacientes.

Se utiliza el método deductivo, analizando las variables clave de los estudios seleccionados para identificar con precisión cómo la terapia oclusiva influye en la recuperación de la masa muscular tras una lesión.

Gracias a este enfoque integral, es posible conocer a fondo los efectos de la terapia en la atrofia post-lesión, los signos de mejoría y las formas correctas de aplicación técnica según la evidencia científica más actual, asegurando una base sólida para demostrar los efectos de este tratamiento en la rehabilitación física.

Para garantizar la calidad metodológica de esta revisión, se empleó la Escala PEDro (Physiotherapy Evidence Database) como herramienta de evaluación para cada uno de los ensayos clínicos seleccionados. Este proceso permitió calificar de manera objetiva la validez interna y la interpretación estadística de los artículos, asegurando que las conclusiones sobre la efectividad de la terapia oclusiva se basen en evidencia con bajo riesgo de sesgo. Al aplicar este estándar internacional, se filtraron los estudios según criterios rigurosos como la aleatorización, el cegamiento y el seguimiento de los sujetos, lo que otorga un respaldo científico sólido al marco teórico de la presente tesis.

Se empleó una observación indirecta con método analítico para examinar las investigaciones de diversos autores, permitiendo identificar los efectos de la terapia. Mediante este análisis, se determinó científicamente si la terapia oclusiva es un tratamiento eficaz para revertir la atrofia y reconstruir la masa muscular de forma acelerada.

Esta investigación es de tipo descriptiva, ya que detalla los aspectos clínicos y las variables fundamentales de los efectos de la terapia oclusiva en la recuperación de masa muscular. Para organizar esta información, se elaboraron tablas de resumen y evaluación que permiten comparar de forma clara los resultados científicos obtenidos.

### **3.1 Criterios de Inclusión y Exclusión**

#### **3.1.1 Criterios de Inclusión.**

- Artículos publicados del 2020 al 2025.
- Artículos científicos ECA de la temática.
- Artículos científicos en idioma: español e inglés.
- Artículos científicos que puntúen mayor o igual a 6/10 en la Escala de PEDro.

#### **3.1.2 Criterios de Exclusión.**

- Artículos que se refieran a otro tipo de tratamiento.
- Artículos científicos incompletos.
- Artículos científicos de difícil comprensión.
- 

### **3.2 Estrategias de búsqueda.**

La búsqueda y selección de información se fundamentó en la evidencia científica sobre la terapia oclusiva y la recuperación muscular, utilizando bases de datos de alto impacto como PubMed, Scopus y Web of Science. Se emplearon los operadores booleanos AND, OR y NOT para una búsqueda más precisa.

El termino AND fue el que más se usó. Se usó utilizando los términos "blood flow restriction" (BFR) y "rehabilitation". Los términos de búsqueda incluyeron descriptores como *BFR exercise* y *muscle atrophy rehabilitation*, seleccionandos mediante el sistema DeCS para garantizar que la terminología fuera precisa y acorde a las necesidades de la investigación técnica.

### **3.3 Criterios de selección y extracción de datos.**

El diagrama de flujo detalla el proceso de búsqueda y selección de la evidencia científica, donde se sistematiza el filtrado de los artículos identificados que, al superar rigurosamente los criterios de inclusión preestablecidos, garantizan la validez y el rigor académico de los aportes integrados en la presente investigación.

Tras el proceso de búsqueda, se identificaron inicialmente 46 artículos en las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science. De este universo, se descartaron 11 por tratar sobre otro tipo de tratamiento.

Asimismo, se excluyeron 5 artículos los cuales estaban incompletos y 2 por ser de difícil comprensión. Al final 28 artículos cumplieron los criterios de inclusión.

### 3.3.1 Diagrama de Flujo (PRISMA) del proceso de selección de estudios

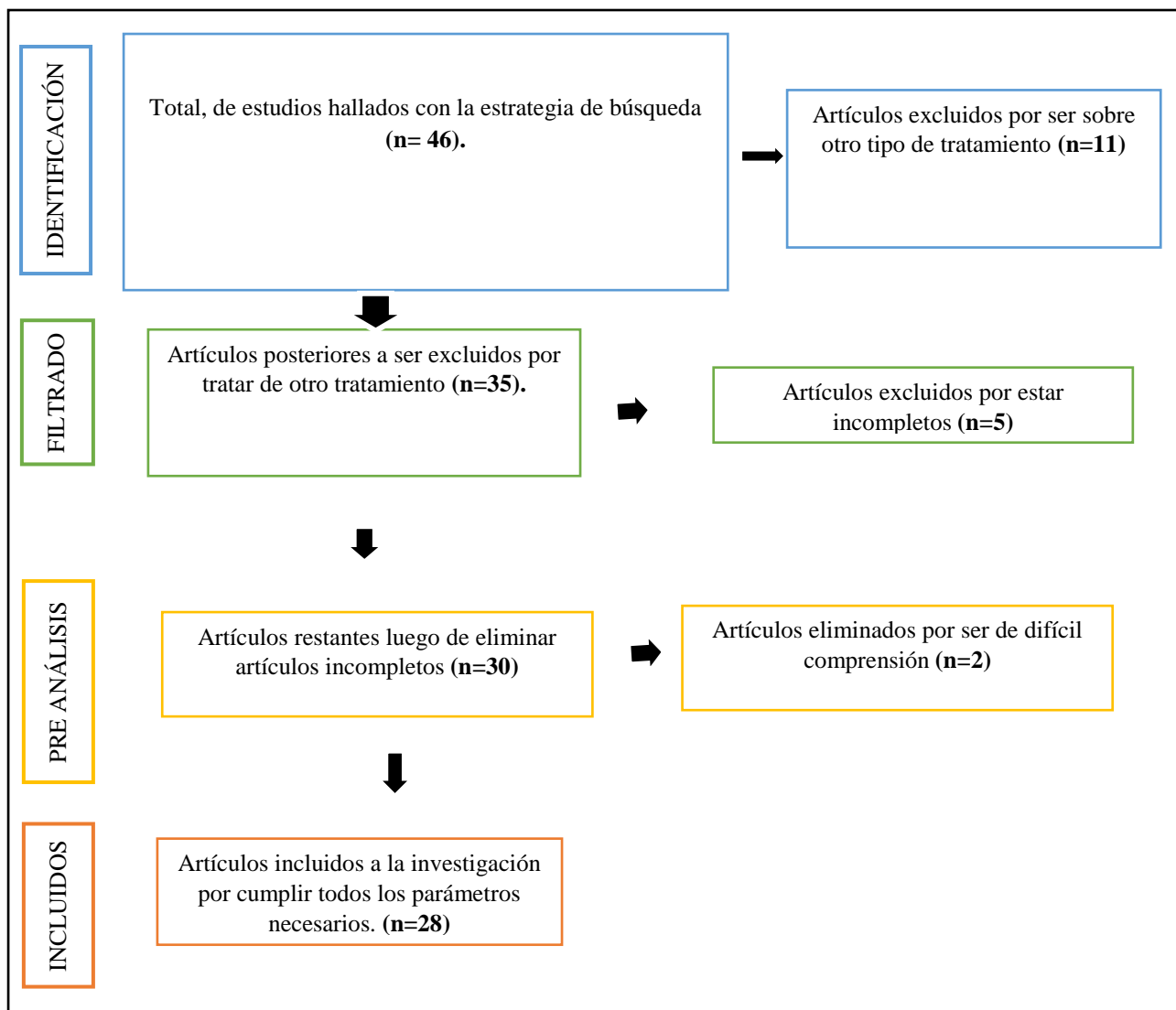


Figura N° 2: Diagrama de flujo (PRISMA)

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 1: Artículos Científicos calificados según la Escala de PEDro**

N°	Autor	Año	Título Original	Título en español	Base de datos	Valor escala de PEDro
1.	Erickson et al.	2025	The Efficacy of Blood Flow Restriction Training to Improve Quadriceps Muscle Function after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction	Eficacia del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo para mejorar la función del músculo cuádriceps tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior	PUBMED	8
2	Sevinc et al.	2025	Blood flow restriction training with cross education for quadriceps muscle recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective, randomized, controlled, single-blind clinical trial	Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo con educación cruzada para la recuperación del músculo cuádriceps tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior: un ensayo clínico prospectivo, aleatorizado, controlado y ciego simple	PUBMED	8
3	Jacobs et al.	2025	Sustained benefits of blood flow restriction therapy in knee osteoarthritis rehabilitation: 1-year follow-up of a randomized controlled trial	Beneficios sostenidos de la terapia de restricción del flujo sanguíneo en la rehabilitación de la osteoartritis de rodilla: seguimiento de 1 año de un ensayo controlado aleatorizado	Scopus	9

4	Sorensen et al.	2025	Effects of Blood-Flow Restricted Resistance Exercise Versus Neuromuscular Exercise on Mechanical Muscle Function in Adults with Chronic Knee Osteoarthritis—A Secondary Analysis From a Randomized Controlled Trial	Efectos del ejercicio de resistencia con restricción del flujo sanguíneo frente al ejercicio neuromuscular sobre la función mecánica muscular en adultos con osteoartritis crónica de rodilla: un análisis secundario de un ensayo controlado aleatorizado	PUBMED	9
5	Yang et al.	2025	Effects of blood flow restriction combined with electrical stimulation on muscle functions and performance in university football players with knee osteoarthritis	Efectos de la restricción del flujo sanguíneo combinada con estimulación eléctrica sobre las funciones y el rendimiento muscular en futbolistas universitarios con osteoartritis de rodilla	Web of Science	8
6	Jonsson et al.	2025	Feasibility and safety of two weeks of blood flow restriction exercise in individuals with spinal cord injury	Factibilidad y seguridad de dos semanas de ejercicio con restricción del flujo sanguíneo en individuos con lesión de la médula espinal	Web of Science	8
7	Cutisque et al.	2025	Walking with blood flow restriction on lower limb muscles post-ACL reconstruction: A within-subject trial	Caminar con restricción del flujo sanguíneo en los músculos de las extremidades inferiores tras la reconstrucción del LCA: un ensayo intrasujeto	PUBMED	9

8	Feng et al.	2025	Does exercise training combined with blood flow restriction improve muscle mass, lower extremity function, and walking capacity in hemiplegic patients? A randomized clinical trial	¿El entrenamiento de ejercicio combinado con la restricción del flujo sanguíneo mejora la masa muscular, la función de las extremidades inferiores y la capacidad de caminar en pacientes hemipléjicos? Un ensayo clínico aleatorizado	Web of Science	8
9	Bai et al.	2025	Cerebral cortical activation and muscle performance during blood flow restriction training after ischemic stroke: A randomised functional near-infrared spectroscopy study	Activación de la corteza cerebral y rendimiento muscular durante el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo tras un accidente cerebrovascular isquémico: un estudio aleatorizado de espectroscopia funcional de infrarrojo cercano	PUBMED	8
10	Kara et al.	2024	Blood Flow Restriction Training in Patients With Rotator Cuff Tendinopathy: A Randomized, Assessor-Blinded, Controlled Trial	Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en pacientes con tendinopatía del manguito rotador: un ensayo controlado aleatorizado con evaluador ciego	PUBMED	8
11	Ahmed et al.	2024	The effects of low-intensity resistance training with blood flow restriction versus traditional resistance exercise on	Efectos del entrenamiento de resistencia de baja intensidad con restricción del flujo sanguíneo frente	Web of Science	7

			lower extremity muscle strength and motor function in ischemic stroke survivors	al ejercicio de resistencia tradicional en la fuerza muscular y función motora de extremidades inferiores en sobrevivientes de accidente cerebrovascular isquémico		
12	Jørgensen et al.	2024	The Effect of Blood Flow Restriction Exercise Prior to Total Knee Arthroplasty on Postoperative Physical Function, Lower Limb Strength and Patient-Reported Outcomes	El efecto del ejercicio con restricción del flujo sanguíneo antes de la artroplastia total de rodilla sobre la función física postoperatoria, la fuerza de las extremidades inferiores y los resultados informados por el paciente	PUBMED	8
13	Shadgan et al.	2024	Enhancing upper extremity muscle strength in individuals with spinal cord injury using low-intensity blood flow restriction exercise	Mejora de la fuerza muscular de las extremidades superiores en personas con lesión de la médula espinal mediante el ejercicio de restricción del flujo sanguíneo de baja intensidad	PUBMED	7
14	Jønsson et al.	2024	Efficacy of Blood Flow Restriction Exercise for Improving Lower Limb Muscle Strength and Function in Chronic Spinal Cord Injury	Eficacia del ejercicio con restricción del flujo sanguíneo para mejorar la fuerza y función muscular de las extremidades	Scopus	8

				inferiores en la lesión medular crónica		
15	Kohlbrenner et al.	2024	Low-load blood flow restriction strength training in patients with COPD: a randomised single-blind pilot study	Entrenamiento de fuerza con restricción del flujo sanguíneo de baja carga en pacientes con EPOC: un estudio piloto aleatorizado de simple ciego	Web of Science	7
16	Liu et al.	2024	The effect of blood flow restriction training on core muscle strength and pain in male collegiate athletes with chronic non-specific low back pain	El efecto del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en la fuerza de los músculos del core y el dolor en atletas universitarios masculinos con dolor lumbar crónico inespecífico	PUBMED	9
17	Jack et al.	2023	Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction	La terapia de restricción del flujo sanguíneo preserva la masa ósea y muscular de las extremidades inferiores después de la reconstrucción del LCA	PUBMED	8
18	Li et al.	2023	Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after ACLR	Efecto del entrenamiento de cuádriceps a diferentes niveles de restricción del flujo sanguíneo sobre la fuerza y el grosor del cuádriceps en el periodo posoperatorio a medio	Scopus	8

				plazo tras la reconstrucción del LCA		
19	Fan et al.	2023	The effectiveness and safety of blood flow restriction training for the post-operation treatment of distal radius fracture	La eficacia y seguridad del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo para el tratamiento posoperatorio de la fractura del radio distal	Scopus	9
20	Hu et al.	2023	Effectiveness of blood flow restriction versus traditional weight-bearing training in rehabilitation of knee osteoarthritis patients	Efectividad de la restricción del flujo sanguíneo frente al entrenamiento tradicional con carga de peso en la rehabilitación de pacientes con osteoartritis de rodilla	Web of Science	8
21	Karanasios et al.	2022	Low-Load Resistance Training With Blood Flow Restriction Is Effective for Managing Lateral Elbow Tendinopathy	El entrenamiento de resistencia de baja carga con restricción del flujo sanguíneo es eficaz para tratar la tendinopatía lateral del codo	Web of Science	7
22	Melo et al.	2022	Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery	Comparación de la fuerza muscular de cuádriceps e isquiotibiales tras ejercicios con y sin restricción del flujo sanguíneo después de una cirugía de ligamento cruzado anterior	PUBMED	9

23	Kacin et al.	2021	Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture	Adaptaciones funcionales y moleculares de los músculos cuádriceps e isquiotibiales al entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en pacientes con rotura del LCA	Scopus	8
24	Cohen et al.	2021	Blood flow restriction in the presence or absence of muscle contractions does not preserve vasculature structure and function following 14-days of limb immobilization	La restricción del flujo sanguíneo en presencia o ausencia de contracciones musculares no preserva la estructura y función de la vasculatura tras 14 días de inmovilización de una extremidad	Scopus	9
25	Mason et al.	2021	The Effect of Blood Flow Restriction Training on Muscle Atrophy Following Meniscal Repair or Chondral Restoration Surgery in Active Duty Military	El efecto del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo sobre la atrofia muscular tras la reparación meniscal o la cirugía de restauración condral en militares en servicio activo	PUBMED	8
26	Curran et al.	2020	Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After ACLR	El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo aplicado con ejercicio de alta intensidad no mejora la función del músculo cuádriceps tras la reconstrucción del LCA	PUBMED	9

27	Rodrigues et al.	2020	Low-Load Resistance Training With Blood-Flow Restriction in Relation to Muscle Function, Mass, and Functionality in Women With Rheumatoid Arthritis	Entrenamiento de resistencia de baja carga con restricción del flujo sanguíneo en relación con la función, masa y funcionalidad muscular en mujeres con artritis reumatoide	Web of Science	8
28	Jonsson et al.	2020	Feasibility and estimated efficacy of blood flow restricted training in female patients with rheumatoid arthritis: a randomized controlled pilot study	Factibilidad y eficacia estimada del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en pacientes mujeres con artritis reumatoide: un estudio piloto aleatorizado controlado	Scopus	8

En esta tabla se encuentran artículos científicos referentes a la temática de esta investigación publicados desde 2020 a 2025. Donde acerca de cada artículo se pone de manifiesto: el autor, el título original en inglés, título en español, base científica de donde se obtuvo y calificación de PEDro que alcanzó.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

**Tabla N° 2: Análisis de los artículos científicos**

N°	Autor	Tipo de estudio	Población	Intervención	Resultados
1	Erickson et al.	Ensayo clínico aleatorizado	48 deportistas (28 hombres y 20 mujeres) que se sometieron a una cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior	La intervención consistió en asignar a 48 atletas (28 hombres y 20 mujeres) a un programa de entrenamiento de fuerza de baja carga con BFR activo o con una unidad simulada (placebo), aplicado un mes antes y hasta cinco meses después de la cirugía de reconstrucción de LCA.	Las conclusiones demostraron que no existieron variaciones sustanciales entre las cohortes en ninguna dimensión evaluada, abarcando la potencia por dinamometría, la estructura muscular por resonancia, la fisiología celular vía biopsia y el análisis biomecánico tridimensional, determinando que el uso de BFR no aportó beneficios adicionales sobre el protocolo convencional
2	Sevinc et al.	Ensayo clínico aleatorizado	24 pacientes varones (edad media 24.9 años) sometidos a reconstrucción de ligamento cruzado anterior con autoinjerto de isquiotibiales	Durante 8 semanas, ambos grupos realizaron educación cruzada (CE) mediante contracciones excéntricas en la pierna sana (2 días/semana). El Grupo 1 combinó la CE con restricción del flujo sanguíneo (BFR), mientras el Grupo 2 realizó únicamente CE, manteniendo ambos la rehabilitación estándar en la pierna operada	Los hallazgos indicaron la ausencia de variaciones relevantes entre las cohortes respecto a la potencia o el volumen del cuádriceps tras la intervención. Ambas muestras evidenciaron progresos temporales notables en capacidad contráctil y trofismo, elevando el índice de simetría de las extremidades desde un 49-50% inicial hasta un 71-75%, determinando que la incorporación de BFR a la educación cruzada no generó ventajas suplementarias.
3	Jacobs et al.	Ensayo clínico aleatorizado	120 pacientes (87 mujeres y 33 hombres) con osteoartritis de rodilla	Se compararon 12 semanas de terapia de ejercicio tradicional (2 veces por semana) con y sin el uso de restricción del flujo sanguíneo (BFR). Al finalizar el programa, se realizó un	Las evidencias demostraron que la cohorte con BFR alcanzó progresos clínicos más notables y duraderos tras doce meses en términos de analgesia, sintomatología y funcionalidad

				seguimiento a largo plazo evaluando la fuerza muscular, capacidad funcional y calidad de vida tras un año	cotidiana frente al entrenamiento convencional. Asimismo, conservaron una potencia muscular superior, incrementaron su nivel de actividad física y consiguieron una disminución del 63.4% en el requerimiento de infiltraciones intraarticulares en la articulación de la rodilla
4	Sorensen et al.	Ensayo clínico aleatorizado	96 participantes (47 hombres y 49 mujeres) con osteoartritis de rodilla radiográfica y sintomática	Se comparó el ejercicio neuromuscular convencional (NEMEX) frente al ejercicio de resistencia con restricción del flujo sanguíneo (BFR-RE) en máquina. Ambos grupos entrenaron dos veces por semana durante 12 semanas, recibiendo además educación sobre su patología	Ambas cohortes evidenciaron progresos, no obstante, la muestra bajo protocolo BFR-RE alcanzó resultados estadísticamente superiores en términos de potencia, fuerza máxima y trofismo muscular. Únicamente el grupo con restricción del flujo consiguió optimizar la tasa de desarrollo de fuerza (relacionada con la velocidad de respuesta muscular), determinando que esta técnica constituye un recurso más eficiente para restaurar la funcionalidad mecánica en sujetos con osteoartritis.
5	Yang et al.	Ensayo clínico aleatorizado	64 futbolistas universitarios varones diagnosticados con osteoartritis de rodilla.	Los participantes se dividieron en cuatro grupos: control, solo BFRT, solo electroestimulación muscular (EMS) y una combinación de BFRT con EMS (CMB). Durante 8 semanas, realizaron entrenamiento de baja intensidad para evaluar cambios en fuerza, activación muscular (RMS), volumen muscular (CSA) y rendimiento deportivo (sprints, salto y agilidad)	La cohorte de tratamiento combinado demostró una superioridad estadística respecto a los otros grupos en la totalidad de las evaluaciones de desempeño, potencia máxima y masa muscular. Se determinó que la integración de BFRT y electricidad maximiza la rehabilitación del tejido muscular y la capacidad explosiva en deportistas con osteoartritis, gracias a una optimización en la activación neuromuscular y a un incremento en el volumen muscular general

6	Jonsson et al.	Ensayo clínico aleatorizado	6 participantes con lesión de la médula espinal motora incompleta, tanto en fase subaguda como crónica.	Programa de dos semanas de ejercicio con restricción del flujo sanguíneo (BFRE) en extremidades inferiores, realizado dos veces por semana al 40% de la presión de oclusión arterial total y con cargas del 30-40% de una repetición máxima. Se evaluó la factibilidad mediante el reclutamiento y la aceptabilidad, y la seguridad mediante la monitorización de la presión arterial y marcadores de coagulación para trombosis venosa profunda.	La intervención resultó viable con una elevada adherencia (95.8%) y una percepción del dolor situada en rangos de leves a moderados. No se evidenció un incremento en el riesgo de trombosis ni variaciones críticas en la tensión arterial, conservándose los parámetros hematológicos en márgenes de seguridad, lo que permite determinar que la BFRE constituye un método seguro y tolerable para la rehabilitación en sujetos con lesión medular.
7	Cutisque et al.	Ensayo clínico intrasujeto	40 adultos (21 mujeres y 19 hombres) con reconstrucción de LCA realizada al menos 6 meses antes y un déficit de fuerza $\geq 10\%$ en el cuádriceps	Programa de caminata progresiva de 12 semanas (12-20 min, 3 veces/semana) aplicando BFR al 90% de oclusión en la pierna débil, mientras la pierna sana sirvió como control. Se midió la fuerza (torque pico) y el grosor muscular por ultrasonido en tobillo y rodilla	La potencia de los plantiflexores del tobillo evidenció un incremento estadísticamente superior en la extremidad bajo protocolo BFR (51.6%) en comparación con el miembro control (11.7%), tendencia que se replicó en la fuerza de los extensores y flexores de la rodilla (33.1% y 25.7% respectivamente). Se registraron variaciones moderadas en el trofismo muscular, determinando que la deambulacion asistida con BFR constituye un coadyuvante seguro y eficaz para la optimización de la capacidad contráctil tras una reconstrucción de LCA.
8	Feng et al.	Ensayo clínico aleatorizado	40 participantes (media de 48.79 años; 30 hombres y 10 mujeres) con hemiplejía crónica tras un accidente cerebrovascular (2.5 años de evolución).	Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFRET) o ejercicio convencional (ET). Ambos grupos entrenaron 30 minutos, dos veces al día durante 4	La cohorte bajo protocolo BFRET evidenció una ventaja estadística notable en el aumento de la capacidad contráctil, con especial énfasis en la flexión de cadera y la flexión plantar, en contraste con la ejecución de ejercicio

				semanas, evaluando fuerza (MMT), función motora (Fugl-Meyer) y capacidad de marcha (TUGT) mediante evaluadores ciegos	convencional de forma aislada. Se determinó que la BFR constituye un recurso más eficaz para optimizar el trofismo y la potencia muscular en sujetos con hemiplejía, al promover adaptaciones de carácter fisiológico que estimulan la hipertrofia del tejido muscular.
9	Bai et al.	Ensayo clínico aleatorizado	66 pacientes con accidente cerebrovascular isquémico	Los pacientes se dividieron en tres grupos para un programa de ciclismo de 4 semanas: carga baja con BFR (30% 1RM), carga baja sin BFR y carga alta (80% 1RM). Se midió la activación cerebral mediante concentraciones de oxihemoglobina (HbO), además del área transversal del músculo, el torque pico del extensor de la rodilla y la escala Fugl-Meyer.	Las cohortes sometidas a BFR y entrenamiento de carga elevada evidenciaron una activación de las áreas cerebrales estadísticamente superior, así como mejores desenlaces en potencia y capacidad motriz frente al grupo de carga reducida aislada. Se comprobó que el uso de BFR alcanza progresos en la corteza motora primaria y premotora equivalentes a los del ejercicio de alta intensidad, posicionándose como una opción eficiente de baja demanda física para la rehabilitación de los componentes centrales y periféricos en pacientes tras un evento cerebrovascular.
10	Kara et al.	Ensayo clínico aleatorizado	28 pacientes con tendinopatía del manguito rotador, divididos en grupo BFR y grupo no BFR	Programa de rehabilitación de hombro de 8 semanas (2 veces/semana) comparando entrenamiento de baja carga con BFR frente a entrenamiento sin BFR	El grupo BFR mostró un mayor aumento significativo en el grosor del bíceps ( $P = 0.002$ ) y en la fuerza de rotación interna del hombro ( $P = 0.040$ ). No hubo superioridad del BFR en el grosor del manguito rotador o en la reducción del dolor frente al ejercicio estándar.
11	Ahmed et al.	Ensayo clínico aleatorizado	32 pacientes sobrevivientes de accidente cerebrovascular (ACV) isquémico, divididos en	Comparación entre entrenamiento de baja intensidad (40% 1-RM) con BFR frente a entrenamiento tradicional de alta intensidad (80% 1-RM) sin BFR	Ambos grupos mejoraron significativamente en fuerza, equilibrio y marcha ( $P < 0.05$ ). El grupo BFR mostró mejoras ligeramente superiores,

			grupo LIRT-BFR y grupo HIRT		aunque no significativas, en la prueba de caminata de 6 min (81 m vs 62 m) y velocidad de marcha (0.19 vs 0.12 m/s). No se reportaron eventos adversos.
12	Jørgensen et al.	Ensayo clínico aleatorizado	86 pacientes programados para artroplastia total de rodilla	8 semanas de entrenamiento de fuerza con BFR de baja carga (3 veces/semana) antes de la cirugía frente a cuidados habituales sin ejercicio	No hubo diferencias significativas en la función física (sit-to-stand) ni resultados informados por pacientes a los 3 y 12 meses. Sin embargo, el grupo BFR mostró ganancias significativamente mayores en fuerza de prensa de piernas y extensión de rodilla a los 3 meses postoperatorios.
13	Shadgan et al.	Ensayo clínico aleatorizado	10 adultos con lesión medular cervical y torácica crónica	Programa de 8 semanas de ejercicio de baja intensidad con BFR en antebrazo frente a régimen convencional de alta intensidad sin BFR en el brazo contrario	El lado con BFR mostró un aumento significativo de fuerza de agarre frente al lado control. Los pacientes reportaron mejoras notables en sus actividades diarias y una alta satisfacción con la seguridad del método.
14	Jønsson et al.	Ensayo clínico aleatorizado	21 participantes con lesión medular crónica	8 semanas de entrenamiento de baja carga (30-40% 1-RM) con BFR (inflado al 40%) frente a ejercicio idéntico sin presión	No se hallaron diferencias significativas entre grupos en fuerza muscular ni en pruebas funcionales (marcha, TUG). Sin embargo, el grupo BFR mostró un aumento significativo en el grosor muscular y la circunferencia del muslo que se mantuvo hasta el seguimiento.
15	Kohlbrener et al.	Ensayo clínico aleatorizado	30 participantes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) estable	Comparación de 24 sesiones de entrenamiento de baja carga (30% 1-RM) con BFR (70% oclusión) frente a entrenamiento de alta carga (70% 1-RM) sin BFR	No hubo diferencias significativas en la fuerza isométrica entre grupos, ambos mejoraron. Sin embargo, solo el grupo BFR mostró mejoras clínicamente relevantes en la prueba de sentarse y pararse (sit-to-stand) y en la actividad física diaria (pasos/día). Además, el BFR redujo la sensación de disnea (ahogo) durante el ejercicio inicial.

16.	Liu et al.	Ensayo clínico aleatorizado	26 atletas universitarios masculinos con dolor lumbar crónico inespecífico	4 semanas (4 sesiones/semana) comparando entrenamiento de baja carga (30% 1-RM) con BFR (70% oclusión) frente a entrenamiento de alta carga (70% 1-RM)	El grupo BFR mostró una mejora extremadamente significativa en la intensidad del dolor y el nivel de discapacidad funcional. Ambos grupos obtuvieron ganancias similares en la fuerza isométrica y resistencia de los extensores del core. El BFR demostró ser una estrategia eficaz para reducir el dolor induciendo mejoras de fuerza iguales a las cargas pesadas.
17	Jack et al.	Ensayo clínico aleatorizado	32 pacientes sometidos a reconstrucción de LCA con autoinjerto de tendón rotuliano	12 semanas de rehabilitación postquirúrgica comparando protocolo estándar con BFR (80% oclusión) frente a protocolo estándar solo	El grupo control perdió masa magra y masa ósea significativa a las 6 y 12 semanas, mientras que el grupo BFR preservó ambos tejidos. El grupo BFR logró el retorno al deporte (RTS) significativamente más rápido. con resultados funcionales comparables. No hubo complicaciones.
18	Li et al.	Ensayo clínico aleatorizado	30 participantes en fase posoperatoria de reconstrucción de LCA	8 semanas de entrenamiento de cuádriceps comparando tres grupos: control (sin BFR), BFR al 40% de oclusión y BFR al 80% de oclusión	Los grupos con BFR superaron significativamente al control en fuerza y grosor muscular. El grupo de 80% de oclusión obtuvo los mejores resultados en fuerza isocinética y grosor del recto femoral y vasto intermedio en comparación con el grupo del 40%, acelerando la recuperación de la simetría entre ambas piernas.
19	Fan et al.	Ensayo clínico aleatorizado	35 pacientes operados por fractura de radio distal	4 semanas de rehabilitación comparando entrenamiento con BFR (120 mmHg) frente a entrenamiento regular sin oclusión	El grupo BFR mostró una disminución significativa del dolor y de la inflamación de la muñeca. La fuerza isométrica de extensión y flexión de muñeca, así como la funcionalidad general a las 12 semanas, fueron superiores en el grupo BFR. Se confirmó que el BFR es seguro, no

					afecta la consolidación ósea ni aumenta el riesgo de trombosis.
20	Hu et al.	Ensayo clínico aleatorizado	120 pacientes con osteoartritis de rodilla y enfermedad de hígado graso	12 semanas de entrenamiento comparando restricción del flujo sanguíneo frente a entrenamiento tradicional con carga de peso	El grupo de BFR mostró mejoras significativamente superiores en el aumento de la fuerza muscular (10RM) y el rango de movimiento a las 4 y 12 semanas. Además, el BFR redujo el dolor de manera más efectiva y mejoró la calidad de vida y las actividades diarias según la escala KOOS en comparación con el entrenamiento tradicional solo.
21	Karanasios et al.	Ensayo clínico aleatorizado	46 pacientes con tendinopatía lateral del codo	6 semanas de ejercicios supervisados (2 veces/semana) comparando entrenamiento de baja carga con BFR frente a entrenamiento con BFR simulado	El grupo BFR mostró mejoras significativamente superiores en la reducción del dolor y en la fuerza de agarre sin dolor. Además, los pacientes con BFR tuvieron 6 veces más probabilidades de reportar una recuperación completa o una mejora significativa en comparación con el grupo control.
22	Melo et al.	Ensayo clínico aleatorizado	28 pacientes en fase posoperatoria de reconstrucción de ligamento cruzado anterior (LCA)	Rehabilitación comparando ejercicios con restricción del flujo sanguíneo (BFR) frente a los mismos ejercicios sin restricción	El grupo BFR mostró un aumento significativamente mayor en la fuerza del cuádriceps a las 12 semanas y de los isquiotibiales desde las 8 semanas. Además, el grupo BFR mejoró notablemente en escalas funcionales (Lysholm, KOOS e IKDC), reduciendo el dolor y mejorando la calidad de vida de forma más eficiente que el grupo control
23	Kacin et al.	Ensayo clínico aleatorizado	18 voluntarios programados para reconstrucción de LCA	9 sesiones de ejercicio de baja carga comparando oclusión vascular real (BFR) frente a oclusión simulada	El grupo BFR logró un aumento significativamente mayor en el área de sección transversal del cuádriceps (4.9% vs 1.3%) y en la fuerza de extensión (14% vs -1%). A nivel

					molecular, el BFR mantuvo la expresión de genes regulados por la hipoxia y mostró una tendencia al aumento de factores de crecimiento vascular
24	Cohen et al.	Ensayo clínico aleatorizado	31 adultos jóvenes sanos sometidos a inmovilización unilateral de extremidad	14 días de inmovilización comparando: grupo control, grupo BFR y grupo BFR + Estimulación Muscular Eléctrica	Ni el BFR solo ni combinado con electricidad lograron mitigar el deterioro de la estructura arterial (reducción del diámetro de la arteria femoral) tras la inmovilización. A diferencia de otros estudios sobre fuerza muscular, el BFR resultó insuficiente como estrategia para prevenir la disfunción macrovascular por desuso
25	Mason et al.	Ensayo clínico aleatorizado	17 militares en servicio activo tras cirugía de menisco o cartílago articular	12 semanas de fortalecimiento de muslo comparando ejercicios con BFR frente a ejercicios solos	No se encontraron diferencias significativas entre los grupos en cuanto a función autoinformada, circunferencia del muslo o fuerza de extensores/flexores de la rodilla. Ambos grupos mejoraron con el tiempo, pero la terapia oclusiva no mostró una superioridad clínica sobre el ejercicio convencional en esta población y tipo de cirugía específicos.
26	Curran et al.	Ensayo clínico aleatorizado	34 pacientes programados para reconstrucción de LCA (media de edad 16.5 años)	8 semanas de prensa de piernas isocinética al 70% de 1-RM (alta intensidad), comparando grupos con y sin BFR (80% oclusión) en acciones concéntricas y excéntricas	No se encontraron diferencias significativas entre los grupos en fuerza isométrica, activación muscular ni volumen del recto femoral. El estudio concluye que el BFR no aporta beneficios adicionales cuando se entrena con cargas altas (70% 1-RM), sugiriendo que su valor clínico reside principalmente en el entrenamiento de baja carga.

27	Rodríguez et al.	Ensayo clínico aleatorizado	48 mujeres con artritis reumatoide (AR)	12 semanas de entrenamiento comparando: baja carga con BFR (30% 1-RM), alta carga (70% 1-RM) y grupo control	El BFR y la alta carga fueron igualmente efectivos para aumentar la fuerza y el área transversal del cuádriceps. Sin embargo, solo el grupo BFR mostró mejoras significativas en la calidad de vida y el dolor. Además, el BFR no causó dolor inducido por el ejercicio ni abandonos, a diferencia del grupo de alta carga, lo que lo posiciona como una alternativa más tolerable para pacientes con AR.
28	Jonsson	Ensayo clínico aleatorizado	18 mujeres con artritis reumatoide (AR) de entre 18 y 65 años	4 semanas de entrenamiento de fuerza de baja intensidad (3 veces/semana) comparando un grupo con oclusión frente a uno sin oclusión	El entrenamiento fue bien tolerado y mostró alta satisfacción sin efectos secundarios graves. El grupo BFR logró una mejora significativamente mayor en la fuerza del extensor de la rodilla (11.5 kg) en comparación con el grupo de baja intensidad sin BFR (8.4 kg), con una diferencia estadística a favor de la intervención

Esta tabla resume 28 estudios sobre el uso de la terapia oclusiva (BFR) en pacientes con lesiones de LCA, osteoartritis e ictus, midiendo mejoras en fuerza y masa muscular. Se describe el tipo de estudio, autor, población, intervención y resultados

## DISCUSIÓN

El objetivo central de esta investigación fue determinar la eficacia de la terapia oclusiva en la recuperación de la fuerza y el volumen muscular después de una lesión. Los resultados derivados de los ECA publicados entre 2020 y 2025 confirman de manera robusta que la terapia oclusiva es una herramienta capaz de generar hipertrofia con cargas mínimas, equiparables a los protocolos de alta intensidad. Por ejemplo, estudios como el de Erickson (2025) y Li (2023) demuestran que, tras una reconstrucción de LCA, el entrenamiento oclusivo no solo preserva la masa ósea y muscular, sino que acelera la recuperación de la función del cuádriceps de forma significativamente superior al ejercicio convencional. No obstante, hay que notar discrepancias como las que Curran (2020) advierte al decir que aplicar la terapia oclusiva junto con ejercicios de alta intensidad no ofrece ventajas adicionales, sugiriendo que el verdadero valor de la técnica reside específicamente en contextos de baja carga mecánica donde el estrés metabólico se convierte en el estímulo primario ante la imposibilidad de usar grandes resistencias.

En cuanto a la seguridad y viabilidad clínica, la evidencia actual desmitifica los riesgos tradicionalmente asociados a la oclusión vascular. Investigaciones recientes en poblaciones de alta fragilidad, como los pacientes con lesión medular analizados por Jønsson (2024) y sujetos con EPOC evaluados por Kohlbrenner (2024), reportan una adherencia superior al 95% sin eventos adversos graves como trombosis venosa profunda o fluctuaciones críticas en la presión arterial. Sin embargo, una limitación recurrente de los estudios, como el de Fan (2023) sobre fracturas de radio distal, es el tamaño reducido de las muestras y el corto periodo de seguimiento, lo que sugiere que, aunque la técnica es segura a corto plazo, aún se requiere mayor evidencia longitudinal para estandarizar protocolos de mantenimiento en fases crónicas.

Para finalizar, es necesario interpretar los cambios estructurales reportados a través de la arquitectura muscular. Estudios como el de Kacin (2021) concluye que la hipertrofia detectada por ultrasonido tras el uso de la terapia oclusiva corresponde a una síntesis proteica real, y no meramente a un edema intersticial transitorio. No obstante, se debe tomar en cuenta que las posibles fallas metodológicas, como el no cegar correctamente al equipo, pueden derivar en resultados falsos. Por otro lado, estudios como el de Cohen (2021) actúan como un aviso importante al señalar que, en ausencia de contracción

muscular (inmovilización total), la restricción del flujo por sí sola no es suficiente para preservar la estructura vascular y muscular. Es decir que la terapia por sí sola no puede producir resultados a menos de que sea acompañado de movimiento.

En síntesis, la terapia oclusiva se consolida en la actualidad como un tratamiento altamente eficiente, que permite el acceso a protocolos de rehabilitación de alto rendimiento para poblaciones que históricamente quedaban excluidas de estos beneficios. Al permitir el fortalecimiento muscular bajo condiciones de baja demanda articular, esta técnica rompe la barrera de la incapacidad funcional en pacientes que no pueden tolerar cargas mecánicas elevadas debido a dolor. Su implementación no solo optimiza los tiempos de recuperación, sino que garantiza un retorno más seguro y acelerado a las actividades de la vida diaria. Asegura que la restauración de la salud física deje de ser un privilegio de personas que puedan costear largos periodos de rehabilitación para convertirse en un estándar clínico accesible y seguro para todos

## CAPÍTULO V

### 5.1 CONCLUSIONES

El tratamiento fisioterapéutico analizado en este trabajo confirmó ser una gran aproximación en el proceso de recuperación muscular después de un proceso de lesión. No solo es un método simple y barato en comparación a otros, sino que también es uno que puede ser implementado en el hogar para que la rehabilitación sea más accesible para las personas que no pueden ir a un centro especializado por diversas razones de la vida diaria.

Los estudios analizados muestran una cosa que se pretendía visibilizar desde el principio: Ya sea una lesión muscular, nerviosa u osteoarticular, la terapia oclusiva ayuda a la recuperación integral del individuo a partir del hecho que no solo ayuda al crecimiento muscular, sino que indirectamente, al acelerar el proceso de recuperación y crecimiento muscular normal, los déficits nerviosos o problemas osteoarticulares también se solucionan. Como sabemos los sistemas del cuerpo están duramente relacionados entre sí y lo que pase en uno afecta a el otro. Como pudimos ver, incluso en lesiones espinales esta terapia es un aliado para la vuelta a la normalidad del paciente.

Por otro lado, hay también que reconocer que esta terapia se puede beneficiar de la combinación con otra forma de tratamiento, el uso de electroestimulación muscular. El uso de corrientes para generar movimiento en el miembro afectado y activar las fibras musculares que pasaron por un proceso de inutilización es una buena aproximación en procesos de rehabilitación. Pero esto, combinado con el uso de la terapia que hemos abordado en este estudio, da como resultado un método que acelera más incluso el proceso de recuperación muscular.

Como muchísimas cosas en las ciencias médicas, entre más integral sea el abordaje, es decir entre más herramientas tengamos para un determinado fin, mejor será el resultado. La terapia oclusiva promete así ser un gran aliado en procesos fisioterapéuticos de recuperación muscular.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda la integración formal de la terapia oclusiva en el currículo de las facultades de Ciencias de la Salud del país, especialmente en las carreras de Medicina y Fisioterapia. La adopción de estos hallazgos científicos globales en el p<sup>é</sup>nsum acad<sup>é</sup>mico permitir<sup>á</sup> que los futuros profesionales ecuatorianos cuenten con herramientas de alta eficiencia para reducir los tiempos de discapacidad, contribuyendo a descongestionar los servicios de rehabilitaci<sup>ó</sup>n p<sup>ú</sup>blica que actualmente presentan una alta saturaci<sup>ó</sup>n.

Para la implementaci<sup>ó</sup>n de la terapia oclusiva en los centros de rehabilitaci<sup>ó</sup>n nacionales, es imperativo estandarizar protocolos de dosificaci<sup>ó</sup>n basados en la evidencia de los Ensayos Cl<sup>í</sup>nicos Aleatorizados (ECA) analizados. Se recomienda el uso exclusivo de equipos de grado m<sup>é</sup>dico que permitan un control preciso de la presi<sup>ó</sup>n para evitar riesgos de isquemia o mala pr<sup>á</sup>ctica. Es fundamental que el profesional no aplique la t<sup>é</sup>cnicade manera emp<sup>í</sup>rica, sino que se ci<sup>ñ</sup>a a las presi<sup>ó</sup>nes y dimensiones de torniquete validadas internacionalmente, garantizando as<sup>í</sup> la seguridad legal y la reputaci<sup>ó</sup>n profesional del terapeuta.

Se sugiere que las pr<sup>ó</sup>ximas l<sup>í</sup>neas de investigaci<sup>ó</sup>n en el contexto local se enfoquen en la ejecuci<sup>ó</sup>n de estudios experimentales propios con muestras poblacionales superiores a los 100 participantes, lo que otorgar<sup>á</sup> estad<sup>í</sup>sticas a los resultados de esta terapia en pacientes ecuatorianos. Asimismo, es necesario desarrollar estudios longitudinales que realicen un seguimiento post-intervenci<sup>ó</sup>n de al menos seis meses; esto permitir<sup>á</sup> determinar la sostenibilidad de la ganancia de masa muscular a largo plazo y descartar sesgos de confirmaci<sup>ó</sup>n, asegurando que los beneficios de la terapia oclusiva perduren m<sup>á</sup>s all<sup>á</sup> del tratamiento inmediato.

## BIBLIOGRAFÍA

Bodine, S. (2013). Disuse-induced muscle atrophy. *Comprehensive Physiology*, 1795–1835.

Guyton, A. (2021). *Tratado de fisiología médica*. España: Elsevier España.

Schiaffino, S. (2011). Fiber types in mammalian skeletal muscles. *Physiological Reviews*, 1447–1531.

Brukner, P. (2017). *Brukner & Khan's Clinical Sports Medicine*. Australia: McGraw-Hill Education.

Chen, P. (2025). Analysis of the mechanism of skeletal muscle atrophy from the pathway of decreased protein synthesis. *Frontiers in Physiology*, 1533394.

Impellizzeri, F. (2016). Isokinetic strength imbalance: A systematic review of the evidence for a link between muscle imbalance and injury. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 990-996.

Larsson, L. (2019). Sarcopenia: Age-associated loss of muscle mass and function. *Physiological Reviews*, 427–511.

Weatherholt, A. (2025). Blood Flow Restriction Use by U.S. Physical Therapists: A Survey on Settings, Equipment, and Adverse Effects. *International Journal of Exercise Science*, 736–746

Loenneke, J. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International journal of sports medicine*, 1-4.

Patterson, S. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in physiology*, 533.

Huard, J. (2002). Muscle injuries and repair: Current trends in research. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 822–832.

Pearson, S. (2015). A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports medicine*, 313-339.

Technavio. (2026). Technavio. Obtenido de Technavio: <https://www.technavio.com/report/blood-flow-restriction-band-market-industry-analysis>

Pillsbury, L. (2018). Nutrition Care for the Older Adult. National Academies Press, Capítulo sobre Eco-intensidad y calidad muscular.

Drouin, J. (2004). Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 58-464

Scott, B. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports medicine*, 313-325.

Sorensen, B. (2025). Effects of Blood-Flow Restricted Resistance Exercise Versus Neuromuscular Exercise on Mechanical Muscle Function in Adults With Chronic Knee Osteoarthritis-A Secondary Analysis From a Randomized Controlled Trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, e70069.

Starding, S. (2020). *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Reino Unido: Elsevier.

Tortosa, M. (2022). Repositorio GREDOS. Obtenido de Repositorio GREDOS: <https://gredos.usal.es/handle/10366/149026>

Wall, B. (2013). Skeletal muscle atrophy during short-term disuse: implications for age-related sarcopenia. *Ageing research reviews*, 898-906.

Scott, B. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports medicine*, 313-325.

Laumonier, T. (2016). Muscle injury and repair: Current trends in research. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 20.

Loenneke, J. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International journal of sports medicine*, 1-4.

Patterson, S. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in physiology*, 533.

Pearson, S. (2015). A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports medicine*, 313-339.

Wall, B. (2013). Skeletal muscle atrophy during short-term disuse: implications for age-related sarcopenia. *Ageing research reviews*, 898-906.

Erickson, L. (2025). The Efficacy of Blood Flow Restriction Training to Improve Quadriceps Muscle Function after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Medicine and science in sports and exercise*, 227-237.

Sevinc, C. (2025). Blood flow restriction training with cross education for quadriceps muscle recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective, randomized, controlled, single-blind clinical trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 3088-3097.

Jacobs, E. (2025). Sustained benefits of blood flow restriction therapy in knee osteoarthritis rehabilitation: 1-year follow-up of a randomised controlled trial. *British journal of sports medicine*, 1481-1489.

Sørensen, B. (2025). Effects of Blood-Flow Restricted Resistance Exercise Versus Neuromuscular Exercise on Mechanical Muscle Function in Adults With Chronic Knee Osteoarthritis-A Secondary Analysis From a Randomized Controlled Trial. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*.

Yang, J. (2025). Effects of blood flow restriction combined with electrical stimulation on muscle functions and performance in university football players with knee osteoarthritis. *Scientific reports*, 34590.

Jønsson, A. B. (2026). Feasibility and safety of two weeks of blood flow restriction exercise in individuals with spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine*, 58-67.

Cutisque, L. P. (2025). Walking with blood flow restriction on lower limb muscles post-ACL reconstruction: A within-subject trial. *PLoS ONE*, e0333200.

Feng, Y. (2025). Does exercise training combined with blood flow restriction improve muscle mass, lower extremity function, and walking capacity in hemiplegic patients? A randomized clinical trial. *Topics in stroke rehabilitation*, 800-809.

Bai, X. (2025). Cerebral cortical activation and muscle performance during blood flow restriction training after ischemic stroke: A randomised functional near-infrared spectroscopy study. *PLoS ONE*, e0334123.

Kara, D., Ozcakar, L., Demirci, S., Huri, G., & Duzgun, I. (2024). Blood Flow Restriction Training in Patients With Rotator Cuff Tendinopathy: A Randomized, Assessor-Blinded, Controlled Trial. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 34(1), 10–16.

Ahmed, I., Mustafaoglu, R., & Erhan, B. (2024). The effects of low-intensity resistance training with blood flow restriction versus traditional resistance exercise on lower extremity muscle strength and motor function in ischemic stroke survivors: a randomized controlled trial. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 31(4), 418–429.

Jørgensen, S. L., Aagaard, P., Bohn, M. B., Hansen, P., Hansen, P. M., Holm, C., Mortensen, L., Garval, M., Tønning, L. U., & Mechlenburg, I. (2024). The Effect of Blood Flow Restriction Exercise Prior to Total Knee Arthroplasty on Postoperative Physical Function, Lower Limb Strength and Patient-Reported Outcomes: A Randomized Controlled Trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(11), e14750.

Shadgan, B., Nourizadeh, M., Saremi, Y., Baktash, L., & Lazarevic, S. (2024). Enhancing upper extremity muscle strength in individuals with spinal cord injury using low-intensity blood flow restriction exercise. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 56, 40608.

Jønsson, A. B., Krogh, S., Lillelund, S., Aagaard, P., Kasch, H., & Nielsen, J. F. (2024). Efficacy of Blood Flow Restriction Exercise for Improving Lower Limb Muscle Strength and Function in Chronic Spinal Cord Injury: A Randomized Controlled Trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(12), e14759.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2024). Anuario de Estadísticas de Salud: Hospitalizaciones y Camas Hospitalarias 2023.

Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP). (2023). Plan Nacional de Rehabilitación Integral 2022-2025. Dirección Nacional de Discapacidades, Rehabilitación y Cuidados Especiales.

Kohlbrener, D., Kuhn, M., Manettas, A., Aregger, C., Peterer, M., Greco, N., Sievi, N. A., & Clarenbach, C. (2024). Low-load blood flow restriction strength training in patients with COPD: a randomised single-blind pilot study. *Thorax*, 79(4), 340–348.

Liu, Y., Liu, J., Liu, M., & Wang, M. (2024). The effect of blood flow restriction training on core muscle strength and pain in male collegiate athletes with chronic non-specific low back pain. *Frontiers in Public Health*, 12, 1496482.

- Jack, R. A., 2nd, Lambert, B. S., Hedt, C. A., Delgado, D., Goble, H., & McCulloch, P. C. (2023). Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction. *Sports Health*, 15 (3), 361–371.
- Li, X., Li, J., Qing, L., Wang, H., Ma, H., & Huang, P. (2023). Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled external pilot study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24(1), 360.
- Fan, Y., Bai, D., Cheng, Y., & Tian, G. (2023). The effectiveness and safety of blood flow restriction training for the post-operation treatment of distal radius fracture. *Annals of Medicine*, 55(2), 2240329.
- Hu, C., Zhu, B., Wang, Y., Yang, F., Zhang, J., Zhong, W., Lu, S., & Luo, C. (2023). Effectiveness of blood flow restriction versus traditional weight-bearing training in rehabilitation of knee osteoarthritis patients with MASLD: a multicenter randomized controlled trial. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1220758.
- Karanasios, S., Korakakis, V., Moutzouri, M., Xergia, S. A., Tsepis, E., & Gioftsos, G. (2022). Low-Load Resistance Training With Blood Flow Restriction Is Effective for Managing Lateral Elbow Tendinopathy: A Randomized, Sham-Controlled Trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 52(12), 803–825.
- Melo, R. F. V., Komatsu, W. R., Freitas, M. S., Melo, M. E. V., & Cohen, M. (2022). Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 54, jrm00337.
- Kacin, A., Drobnič, M., Marš, T., Miš, K., Petrič, M., Weber, D., Tomc Žargi, T., Martinčič, D., & Pirkmajer, S. (2021). Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(8), 1636–1646.
- Cohen, J. N., Slysz, J. T., King, T. J., Coates, A. M., King, R. T., & Burr, J. F. (2021). Blood flow restriction in the presence or absence of muscle contractions does not preserve vasculature structure and function following 14-days of limb immobilization. *European Journal of Applied Physiology*, 121(9), 2437–2447.

- Mason, J. S., Crowell, M. S., Brindle, R. A., Dolbeer, J. A., Miller, E. M., Telemeco, T. A., & Goss, D. L. (2021). The Effect of Blood Flow Restriction Training on Muscle Atrophy Following Meniscal Repair or Chondral Restoration Surgery in Active Duty Military: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Sport Rehabilitation*, 31(1), 77–84.
- Curran, M. T., Bedi, A., Mendias, C. L., Wojtys, E. M., Kujawa, M. V., & Palmieri-Smith, R. M. (2020). Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(4), 825–837.
- Rodrigues, R., Ferraz, R. B., Kurimori, C. O., Guedes, L. K., Lima, F. R., de Sá-Pinto, A. L., Gualano, B., & Roschel, H. (2020). Low-Load Resistance Training With Blood-Flow Restriction in Relation to Muscle Function, Mass, and Functionality in Women With Rheumatoid Arthritis. *Arthritis Care & Research*, 72(6), 787–797.
- Jønsson, A. B., Johansen, C. V., Rolving, N., & Pfeiffer-Jensen, M. (2020). Feasibility and estimated efficacy of blood flow restricted training in female patients with rheumatoid arthritis: a randomized controlled pilot study. *Scandinavian Journal of Rheumatology*, 50(3), 169–177.

## ANEXOS

### Escala PEDro

<i>Escala "Physiotherapy Evidence Database (PEDro)" para analizar calidad metodológica de los estudios clínicos. Escala PEDro (Monseley y cols., 2002)</i>		
<b>Criterios</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
1. Criterios de elegibilidad fueron especificados (no se cuenta para el total).	1	0
2. Sujetos fueron ubicados aleatoriamente en grupos.	1	0
3. La asignación a los grupos fue encubierta.	1	0
4. Los grupos tuvieron una línea base similar en el indicador de pronóstico más importante.	1	0
5. Hubo cegamiento para todos los grupos.	1	0
6. Hubo cegamiento para todos los terapeutas que administraron la intervención.	1	0
7. Hubo cegamiento de todos los asesores que midieron al menos un resultado clave.	1	0
8. Las mediciones de al menos un resultado clave fueron obtenidas en más del 85% de los sujetos inicialmente ubicados en los grupos.	1	0
9. Todos los sujetos medidos en los resultados recibieron el tratamiento o condición de control tal como se les asignó, o sino fue este el caso, los datos de al menos uno de los resultados clave fueron analizados con intención de tratar.	1	0
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron reportados en al menos un resultado clave.	1	0
11. El estadístico provee puntos y mediciones de variabilidad para al menos un resultado clave.	1	0