

**Efecto Bauschinger en ortodoncia. Revisión rápida sistemática de literatura**

Moisés Eduardo García Costa, Máximo Alcibíades Polonia García y Diana Katherine Zolaque

Mateus

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Ortodoncia

Director:

María Paula Villarreal Assaf

Ortodoncista Universidad Santo Tomás

Codirector

Luis Alberto López Romero

Magister en Epidemiología

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ciencias de la Salud

Especialización en Ortodoncia

2024

### **Agradecimientos**

Agradecemos primeramente a Dios que nos ha llevado a cumplir esta meta, a nuestros padres que han sido un gran apoyo durante nuestro posgrado, agradecemos a la Doctora María Paula Villarreal por acompañarnos en la elaboración de la tesis, siendo una gran guía en este proyecto y una excelente mentora en nuestro proceso formativo como ortodoncistas, al profesor Luis Alberto López Romero por su asesoría en la parte estadística, metodología, búsqueda de los artículos y recolección de datos.

## Contenido

Introducción .....	12
1.Planteamiento del problema .....	13
2. Justificación.....	15
3. Objetivos .....	16
3.1. Objetivos generales .....	16
3.2. Objetivos específicos.....	16
4. Marco teórico .....	16
4.1. Características y propiedades de los alambres en ortodoncia .....	16
4.1.1 Características extrínsecas de los alambres .....	17
4.1.2 Características intrínsecas de los alambres de ortodoncia .....	24
4.2 Alambres en ortodoncia.....	31
4.2.1 Acero.....	31
4.2.2 NiTi.....	31
4.3 Ansas .....	33
4.3.1 Elementos que forman un ansa .....	33
4.3.2 El diseño de las ansas.....	35
4.3.3 La activación de las ansas.....	36
4.4 Efecto Bauschinger.....	40
4.4.1 Efecto Bauschinger en los aceros .....	43
4.4.2 Efecto Bauschinger según propiedades extrínsecas.....	44
4.4.3 Efecto Bauschinger según propiedades intrínsecas .....	44
5. Método .....	45
5.1 Tipo de estudio .....	45

EFFECTO BAUSCHINGER	4
5.2 Población y muestra	45
5.2.1 Muestra	46
5.2.2 Población	46
5.2.3 Tamaño de muestra y muestreo	46
5.3 Variables	46
5.4 Criterios de inclusión	47
5.5. Criterios de exclusión	47
6. Instrumento	47
6.1. Procedimientos	47
6.1.1. Extracción y manejo de los datos.	48
6.1.2. Evaluación del riesgo de sesgo en los estudios incluidos.	48
7. Consideraciones Éticas	49
8. Análisis estadístico	49
9. Resultados	49
9.1 Síntesis cuantitativa y cualitativa	50
9.2 Efecto Bauschinger en ortodoncia	54
9.2.1 Efecto Bauschinger en alambres de acero	54
9.2.2 Efecto Bauschinger en alambres de NiTi	54
9.3 Evaluación de la calidad metodológica	55
10. Discusión	73
11. Fortalezas	78
12. Debilidades	78
13. Recomendaciones	78
14. Conclusiones	78

EFECTO BAUSCHINGER

5

Referencias .....80

Apéndices .....87

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Resultados según base de datos o motor de búsqueda.</i> .....	50
<b>Tabla 2</b> <i>Años de publicación de los estudios identificados.</i> .....	51
<b>Tabla 3.</b> <i>País en donde fueron publicados los artículos</i> .....	51
<b>Tabla 4.</b> <i>Instrumento de recolección -Síntesis de Efecto Bauschinger encontrado en la revisión sistemática</i> .....	57

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> <i>Grafica que relaciona la curva carga/deflexión.</i> .....	18
<b>Figura 2.</b> <i>Comportamiento de las características extrínsecas en la gráfica fuerza/deflexión</i> .....	21
<b>Figura 3.</b> <i>Grafica que relaciona la curva tensión/deformación (5).</i> .....	25
<b>Figura 4.</b> <i>Ley de Hooke, Comportamiento de un material bajo la gráfica de tensión/deformación</i> .....	26
<b>Figura 5.</b> <i>Puntos de la curva tensión/deformación</i> .....	27
<b>Figura 6.</b> <i>La resiliencia y la moldeabilidad.</i> .....	29
<b>Figura 7.</b> <i>Comportamiento del NiTi</i> .....	32
<b>Figura 8.</b> <i>Activación de las ansas de acuerdo con sus componentes</i> .....	34
<b>Figura 9.</b> <i>Diseño de ansas cerradas y abiertas</i> .....	36
<b>Figura 10.</b> <i>Distribución de tensiones en un ansa a). Antes de aplicar la fuerza. b). Después de aplicar la fuerza. c y d). Patrón de distribución de esfuerzos en un corte imaginario (sección) del alambre.</i> .....	37
<b>Figura 11.</b> <i>Esfuerzos aplicados en el alambre</i> .....	38
<b>Figura 12.</b> <i>Forma pasiva y activa en ansas cerradas y abiertas</i> .....	39
<b>Figura 13.</b> <i>Grafica del efecto Bauschinger.</i> .....	40
<b>Figura 14.</b> <i>Diseño del ansa y el efecto Bauschinger.</i> .....	42
<b>Figura 15.</b> <i>Selección de artículos (Flujograma PRIMAS).</i> .....	52

**Lista de apéndices**

<b>Apéndice A.</b> <i>Operacionalización de las variables</i> .....	87
<b>Apéndice B.</b> <i>Instrumento de recolección - Prueba de conceptos</i> .....	87
<b>Apéndice C.</b> <i>Plan de Análisis Univariado</i> .....	89
<b>Apéndice D.</b> <i>Evaluación de la calidad metodológica, Haynuda, et al. 2006</i> .....	90
<b>Apéndice E.</b> <i>Evaluación de la calidad metodológica, Burstone, et al, 1980</i> .....	91
<b>Apéndice F.</b> <i>Evaluación de la calidad metodológica, M. Lorenzo, 2009.</i> .....	92
<b>Apéndice G.</b> <i>Evaluación de la calidad metodológica, Burstone 1985.</i> .....	92
<b>Apéndice H.</b> <i>Evaluación de la calidad metodológica, Gullota A, et al, 1987.</i> .....	94
<b>Apéndice I.</b> <i>Construcción de estrategia de búsqueda y términos empleados</i> .....	94
<b>Apéndice J.</b> <i>Bitacora de búsqueda en Pubmed.</i> .....	97
<b>Apéndice K.</b> <i>Bitácora de búsqueda Ovid-embase</i> .....	100
<b>Apéndice L.</b> <i>Lista de estudio excluidos en texto completo y razone de exclusión</i> .....	102

## Resumen

**Introducción:** El efecto Bauschinger es crucial en la deformación plástica de metales y es fundamental considerar su impacto para una aplicación efectiva de esta propiedad, en la manipulación de materiales dentales. **Objetivo:** Determinar la evidencia científica disponible sobre el efecto Bauschinger en ortodoncia tomando como fuentes bibliográficas: artículos, libros, revisiones y tesis. **Metodología:** Se realizó una revisión sistemática rápida de literatura. Se incluyeron estudios sobre el efecto Bauschinger en ortodoncia publicados en todos los idiomas en ciencias de los materiales e ingeniería en diferentes revistas indexadas, base de datos de ortodoncia y otros repositorios, así como búsqueda en bola de nieve. Se realizó una síntesis cualitativa de la información y la calidad fue evaluada con la herramienta de evolución crítica del CEBM. **Resultados:** Se incluyeron 6 artículos, la mayoría publicados en Estados Unidos (66.66%, n=4) y solo 2 (33,33%) abordaron específicamente el efecto en ortodoncia. La investigación sobre el efecto Bauschinger en ortodoncia es limitada y no está tan ampliamente documentada como en otros campos de la ingeniería y la ciencia de materiales. En el estudio publicado en Australia los autores resaltaron la relevancia del efecto Bauschinger en alambres de acero inoxidable de calibre 0,016 pulgadas, como un factor con impacto significativo en la deformación plástica y el estrés cíclico en su comportamiento mecánico. **Conclusión:** La literatura del efecto Bauschinger en ortodoncia es limitada, pero sus implicaciones en la selección, diseño y rendimiento de los alambres ortodónticos son significativas. Comprender estos efectos puede optimizar los tratamientos y mejorar los resultados clínicos.

*Palabras claves:* Flexión, resistencia, rigidez, alambres de ortodoncia

### Abstract

**Introduction:** The Bauschinger effect is crucial in the plastic deformation of metals and it is essential to consider its impact for an effective application of this property in the manipulation of dental materials. **Objective:** To determine the available scientific evidence on the Bauschinger effect in orthodontics using bibliographic sources such as articles, books, reviews, and theses. **Methodology:** A rapid systematic literature review was conducted. Studies on the Bauschinger effect in orthodontics published in all languages in materials science and engineering in different indexed journals, orthodontic databases, and other repositories were included, as well as snowball searching. A qualitative synthesis of information was conducted, and the quality was evaluated using the Critical Appraisal Tool from CEBM. **Results:** Six articles were included, most of which were published in the United States (66.66%, n=4), and only 2 (33.33%) specifically addressed the effect in orthodontics. Research on the Bauschinger effect in orthodontics is limited and not as widely documented as in other fields of engineering and materials science. In the study published in Australia, the authors highlighted the relevance of the Bauschinger effect in 0.016-inch stainless steel wires as a significant factor in plastic deformation and cyclic stress in their mechanical behavior. **Conclusion:** Literature on the Bauschinger effect in orthodontics is limited, but its implications in the selection, design, and performance of orthodontic wires are significant. Understanding these effects can optimize treatments and improve clinical outcomes.

*Key words:* Bending, Strength, Stiffness, Orthodontic wires.

### Glosario

*Efecto Bauschinger:* El efecto Bauschinger generalmente se asocia con situaciones en las que el límite elástico de un metal disminuye al cambiar el sentido de la tensión (Andrii Gennadiovych Kostyryzhnev, 2009).

*Elasticidad:* capacidad de un alambre para recuperar su forma original después de retirar su carga o deflexión (Raymond C. Thurow, 1982).

*Fuerza:* La fuerza es una magnitud vectorial capaz de alterar el estado de inercia de un cuerpo, representada físicamente como un vector con propiedades de magnitud, sentido y dirección (Raymond C. Thurow, 1982).

*Límite elástico:* El límite elástico se refiere a una zona en la curva carga/deflexión, donde el material experimenta una deformación permanente. Su proyección en el eje de la carga será determinante para la resistencia del material, mientras su proyección en el eje de la deflexión será determinante para el rango de trabajo (Raymond C. Thurow, 1982).

*Resistencia:* La resistencia se refiere a la carga máxima que un material puede soportar, antes de alcanzar el límite del material y llegar a un estado plástico de deformación permanente (Burstone & Koenig, 1976; Verstryngge et al., 2006).

*Rigidez:* Es la relación entre la carga y la deflexión, representada por la pendiente en la curva de elasticidad. Es una medida de la fuerza que se necesita para flexionar un material a una distancia y con una carga determinada (Raymond C. Thurow, 1982).

## Introducción

El efecto Bauschinger es un fenómeno fundamental en la deformación plástica de los metales, que influye en su comportamiento reológico. Este efecto se manifiesta en la variación de la resistencia a la deformación plástica adicional de un material, dependiendo de la dirección de la carga aplicada y su historia de deformación previa. En ortodoncia, donde se utilizan alambres y brackets metálicos sometidos a cargas cíclicas, comprender el efecto Bauschinger es crucial para predecir y controlar los movimientos dentales durante el tratamiento (Xiang & Vlassak, 2005).

Históricamente, el efecto Bauschinger fue descrito por primera vez por Johann Bauschinger en 1886, pero su relevancia clínica en ortodoncia no fue plenamente reconocida hasta décadas más tarde. Investigaciones posteriores han demostrado que la relación tensión-deformación en materiales metálicos es más compleja de lo que se pensaba originalmente, y que el efecto Bauschinger desempeña un papel crucial en la resistencia de estos materiales a la deformación (Xiang & Vlassak, 2005).

En la práctica clínica, el efecto Bauschinger se traduce en que un alambre ortodóncico deformado plásticamente, puede resistir mejor una carga aplicada en la misma dirección de la deformación inicial, en comparación con una carga en dirección opuesta. Esto tiene implicaciones importantes en el diseño y la selección de materiales, ya que estos deben ser capaces de soportar cargas repetidas, y ofrecer una respuesta elástica favorable para el movimiento dental. (CharlesJ .Burstone, 2015a; Gullota. A, n.d.).

En resumen, comprender y considerar el efecto Bauschinger en ortodoncia es fundamental para asegurar el éxito del tratamiento. Investigaciones continuas en este campo son necesarias para mejorar nuestra comprensión de este fenómeno y su aplicación clínica en ortodoncia.

Este documento se organiza considerando los siguientes capítulos: el primero es el planteamiento del problema en el cual encontramos que el efecto Bauschinger tiene unas

implicaciones en ortodoncia y que este puede influir en la durabilidad, resistencia de los dobleces y activaciones en los alambres durante los tratamientos. Posteriormente, se encuentra la justificación, donde se resalta la importancia de una revisión sistemática de literatura para entender la evidencia disponible acerca de este efecto y sus aplicaciones en Ortodoncia, como una base científica con alto impacto clínico en nuestro gremio, instituciones y ejercicio profesional. En conjunto a lo anterior, encontramos el objetivo principal, el cual se basa en realizar una búsqueda en la literatura sobre el efecto Bauschinger en ortodoncia, tomando en cuenta artículos, libros y otras revisiones bibliográficas. Dentro del marco teórico, se enfatiza sobre diferentes conceptos que permiten comprender mejor esta revisión bibliográfica y finalmente, se encuentran los capítulos de resultados en donde se esquematizan los principales hallazgos de la síntesis realizada, la discusión en donde se contextualizan los hallazgos a la luz de la evidencia existentes y por último, las principales conclusiones de los hallazgos encontrados.

### **1.Planteamiento del problema**

La respuesta mecánica de un material elástico no solo está influenciada por su estado de tensión actual, sino también por su historial de deformación. Un ejemplo crucial de esto se manifiesta cuando un metal experimenta deformación plástica en una dirección, provocando un límite elástico menor cuando se somete nuevamente a carga en sentido opuesto. Este fenómeno, conocido como efecto Bauschinger, fue inicialmente identificado por Johann Bauschinger en 1881 (Xiang & Vlassak, 2005).

Este efecto se relaciona con el impacto de las deformaciones plásticas previas en el comportamiento mecánico futuro de un material, situación crítica en el contexto de materiales metálicos de uso frecuente en ortodoncia (Quinn & Ken Yoshikawa, 1985).

Un ejemplo claro de lo anterior, ocurre cuando un material metálico se somete a deformaciones plásticas (confección de ansas o elementos elásticos), estas cargas permitidas por su moldeabilidad, generan movimientos y cambios de posición en la estructura atómica interna, variaciones responsables del efecto que se refleja en el momento de su activación clínica, donde un esfuerzo en la misma dirección de carga inicial, genera el mayor límite elástico y el mejor comportamiento de recuperación, mientras un esfuerzo en dirección opuesta, va a reducir este límite y con él, el rango de trabajo para el movimiento dental deseado.

Cuando se experimenta este efecto activando un material en dirección opuesta, no existe un retorno al estado inicial o recuperación elástica total, y esto hace que se necesite una carga menor para continuar con la deformación. En otras palabras, el comportamiento del material varía dependiendo de su historial de esfuerzos, en magnitud, frecuencia y dirección (Quinn & Ken Yoshikawa, 1985).

La comprensión del efecto Bauschinger en ortodoncia es crucial debido a su influencia en la durabilidad y resistencia de los dobleces y activaciones utilizados en los tratamientos. Al diseñar los elementos de resorte, es esencial considerar cómo el efecto Bauschinger puede afectar su rendimiento, y de esta forma, establecer una disposición adecuada de dobleces, ubicación espacial de helicoides y demás estrategias biomecánicas. Sin embargo, a pesar de su importancia clínica, es un efecto subestimado en la literatura, en el gremio y en la mayoría de las instituciones educativas en ortodoncia, de hecho, en gran parte de los fundamentos académicos, se muestran ejemplos contradictorios a este principio físico y mecánico (Quinn & Ken Yoshikawa, 1985).

Como se mencionó anteriormente, en la Universidad Santo Tomás y, posiblemente, en otras instituciones, existe una notable carencia de literatura que describa cómo los alambres de ortodoncia se ven afectados por el efecto Bauschinger. La falta de consenso sobre esta evidencia disponible

impide la aplicación clínica efectiva de estos conceptos, desde la formación especializada, hasta el manejo clínico específico (Salehi & Arab, 2015).

Dada esta brecha en el conocimiento, surge la pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto del efecto Bauschinger en ortodoncia, considerando la evidencia disponible en artículos, libros, revisiones y tesis? Una revisión sistemática de la literatura permitirá abordar esta pregunta y proporcionar una comprensión más completa de cómo el efecto Bauschinger influye en los tratamientos ortodónticos (Salehi & Arab, 2015).

## **2. Justificación**

Comprender el efecto Bauschinger, es un paso clave en la búsqueda de una formación especialista de alta calidad en ortodoncia. Es un efecto con impactos clínicos significativos, que parte de los principios más básicos de física y mecánica para el diseño de aplicaciones efectivas en la búsqueda de un movimiento dental adecuado.

Es fundamental comprender el efecto Bauschinger para anticipar y controlar adecuadamente el comportamiento de los materiales utilizados en ortodoncia, para tomar decisiones con criterio científico acerca de la mejor estrategia de confección y activación para una mecánica determinada (Kojima et al., 2012; Qian et al., 2009).

Esta investigación llenará un vacío de conocimiento para los ortodoncistas y el área de salud en general, al promover conciencia sobre la importancia de este efecto, y proporcionar una comprensión más detallada de cómo puede actuar positiva o negativamente en la planificación de un tratamiento, permitiendo aprovechar exitosamente todas las virtudes biomecánicas de las aleaciones y materiales disponibles en la actualidad. Se espera que los resultados conduzcan a nuevas ideas y recomendaciones para futuros estudios, así como a una mayor comprensión de la relación entre los alambres ortodónticos y su comportamiento bajo carga cíclica. Además, esta

investigación tiene una trascendencia social importante, al mejorar la calidad de manejo ortodóntico que reciben los pacientes, por medio de un enfoque más personalizado, con una planificación detallada desde un punto de vista clínico y biomecánico, resultando en precisión, efectividad de los objetivos proyectados y certeza del fundamento científico que los sustenta (Kojima et al., 2012).

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivos generales**

- Realizar una búsqueda sobre el efecto Bauschinger en ortodoncia en la literatura disponible tomando como fuentes bibliográficas: artículos, libros, revisiones y tesis grado.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Sintetizar la información disponible sobre el efecto Bauschinger en ortodoncia y demás áreas afines a partir de la literatura publicada.
- Determinar la calidad de la evidencia científica disponible sobre el efecto Bauschinger en ortodoncia.

### **4. Marco teórico**

#### **4.1. Características y propiedades de los alambres en ortodoncia**

El movimiento dental en ortodoncia se logra mediante la aplicación de fuerzas orientadas por los brackets y transmitidas por los alambres. Estas fuerzas transferidas al ligamento periodontal y estructuras óseas de soporte dental, iniciando una actividad celular y molecular que permite el movimiento de los dientes a través del hueso alveolar (Raboud et al., 1997).

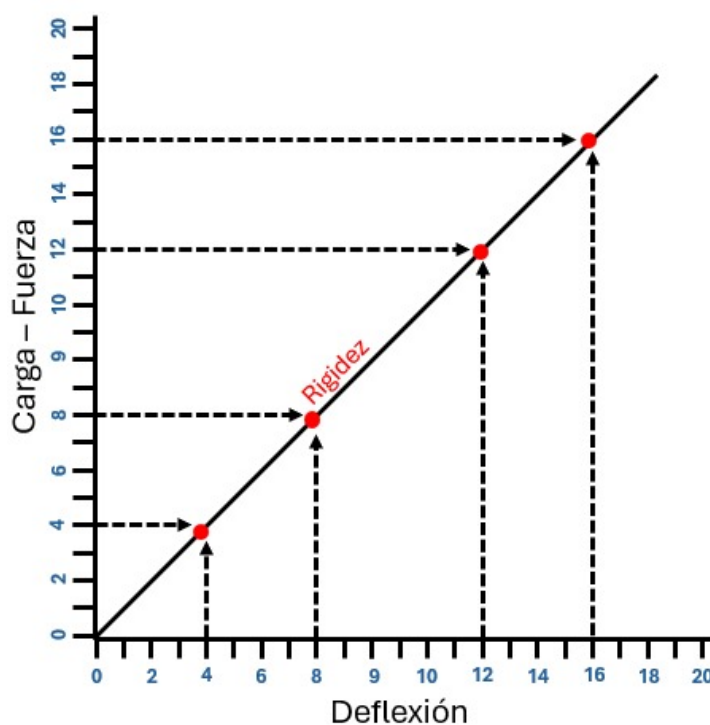
El término "alambre" se refiere a una pieza metálica que ha sido moldeada en forma de hilo aplicando fuerzas de estiramiento. En el contexto de la ortodoncia, los alambres pueden adoptar diversas formas, como ansas, arcos o ligaduras, y son elementos con propiedades físicas elásticas. Estos alambres tienen la capacidad de almacenar energía y liberarla, lo que se traduce en la generación de fuerzas activas utilizadas en el proceso ortodóntico. (Uribe Restrepo G., 2010)

La correcta elección del tipo de aleación, grosor y ancho permite al ortodoncista tener un control preciso sobre los niveles de fuerza necesarios para lograr el movimiento dental de manera eficiente. Para esto, es esencial considerar factores como la intensidad, dirección y duración de las fuerzas, junto a los momentos aplicados durante el tratamiento ortodóntico los alambres tienen características extrínsecas e intrínsecas que van a definir su desempeño clínico, a continuación, vamos a mencionar en detalle estos conceptos. (Raymond C. Thurow, 1982) .

#### ***4.1.1 Características extrínsecas de los alambres***

Las propiedades extrínsecas corresponden a las características a nivel macroscópico del material, tales como el diámetro o la longitud del alambre, que pueden ser evaluadas por el clínico (Nanda R, 1998). La curva de carga/deflexión se utiliza tanto en ingeniería como en ortodoncia para analizar el comportamiento y las características de todos los materiales elásticos, especialmente los alambres, y conocer su aplicación clínica en las diferentes mecánicas (Ver figura 1) . Cabe resaltar que, para obtener esta curva, se realizan mediciones progresivas con una máquina de medición electrónica denominada Instron, donde se somete el alambre a esfuerzos y se analiza su respuesta elástica (Aristizábal, 2010).

**Figura 1.** *Grafica que relaciona la curva carga/deflexión.*



Tomada de: Ortodoncia teoría y clínica, Gonzalo Uribe(Uribe Restrepo G., 2010).

En ciertas aleaciones, la gráfica que vincula la carga con la deflexión muestra una relación directamente proporcional, lo que significa que, por cada unidad de fuerza aplicada, se obtiene una unidad de deflexión en el alambre. Esta relación se mantiene constante hasta alcanzar un punto en la curva conocido como límite elástico o límite proporcional. En esta zona límite, si se suspende la fuerza aplicada, el alambre recupera completamente su forma original sin experimentar ninguna

deformación y, por el contrario, si persiste o aumenta la carga/deflexión, el alambre experimenta una deformación permanente entrando en una zona de plasticidad (Raymond C. Thurow, 1982).

Para el movimiento dental, es fundamental emplear sistemas mecánicos que generen una proporción carga/deflexión baja en la mayoría de las fases de tratamiento, garantizando así, esfuerzos fisiológicos sobre las estructuras dentales y periodontales (Uribe Restrepo G., 2010).

La fuerza ejercida por unidad de área se denomina carga y se describe en términos de su magnitud y dirección. La carga se clasifica como tensil, cuando actúa en una dirección de estiramiento o compresiva cuando actúa en una dirección de compresión. Cuando una carga está presente, se produce deformación o deflexión en el material, y esta deflexión puede ser elástica o plástica, (elástica en la zona previa al límite proporcional y plástica posterior al mismo) (Raymond C. Thurow, 1982).

Las tres propiedades básicas de los dispositivos elásticos son: la resistencia, la rigidez y el rango de trabajo. La característica elástica permite que los alambres mantengan una presión constante sobre los dientes para lograr los movimientos deseados y que posteriormente, retornen a su forma original, lo que facilita la realización de ajustes durante el tratamiento (Raymond C. Thurow, 1982).

A continuación, se mencionan aspectos importantes de los elementos elásticos en su análisis extrínseco:

**4.1.1.1 Resistencia.** La resistencia se refiere a la carga máxima que un alambre o arco puede soportar o liberar, antes de alcanzar el límite del material y llegar a un estado plástico de deformación permanente. Cuando se utiliza este término en relación con un material, representa su capacidad total para resistir fuerzas en comparación con otros materiales. A veces, los términos "resiliencia" y "tenacidad" se utilizan para describir esta capacidad de manejar y almacenar fuerzas (Gullota. A, n.d.; Raymond C. Thurow, 1982)

Esta se define como la propiedad física de un alambre que le permite resistir una carga deformante sin exceder el límite de deformación plástica. Esta propiedad de resistencia depende del rango de trabajo y de la rigidez del material. La resistencia es un factor crucial para considerar en aplicaciones donde se requiere que un alambre o material retenga su forma y capacidad de carga sin sufrir deformaciones permanentes (Ver figura 2) (Burstone & Koenig, 1976; Verstrynge et al., 2006).

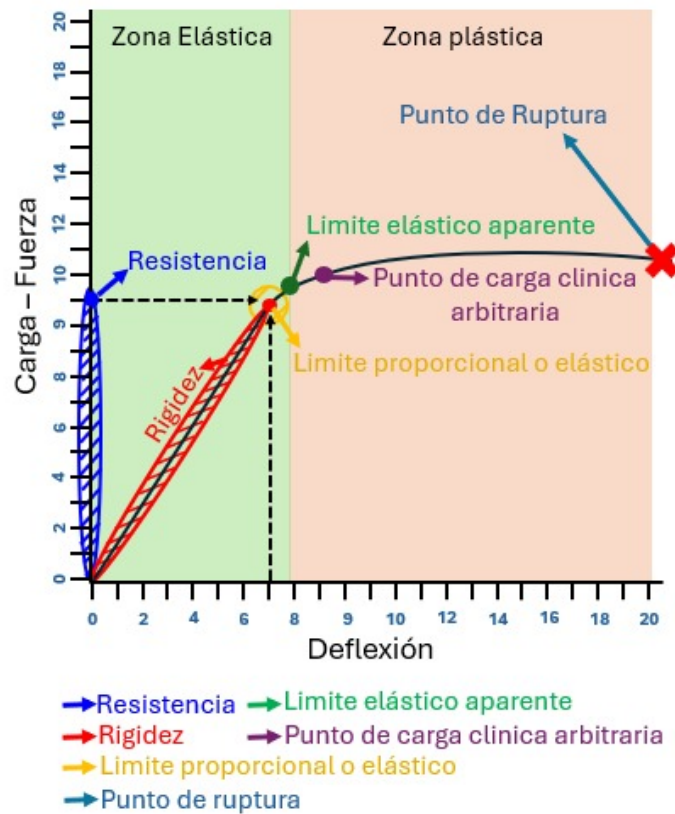
**4.1.1.2 Rigidez.** La rigidez es una medida indicativa de la relación o proporción entre la fuerza aplicada a un alambre y su deformación, pero no proporciona una cantidad exacta de fuerza ni la distancia que el alambre se desplaza (Burstone & Koenig, 1976; Verstrynge et al., 2006).

La rigidez es una medida de la fuerza que ejerce el material, es la relación entre carga y deflexión en un alambre, de acuerdo con el estudio de Smith y Burstone "Mechanics of tooth movement", considerado un referente para biomecánica en Ortodoncia, las fuerzas se pueden medir en unidades comunes de peso como onzas, o de masa como los gramos, donde se complementa y se expresa como: gramos fuerza (Smith & Burstone, 1984)

La rigidez, en términos generales, se utiliza para evaluar la capacidad de un alambre o material para resistir la deformación bajo una carga aplicada. Cuanto mayor sea la rigidez, menos se deformará el material bajo la misma carga. Esto es importante en aplicaciones donde se necesita

que un material mantenga su forma y no se deforme fácilmente bajo carga. Sin embargo, la rigidez no proporciona información sobre la cantidad exacta de fuerza o la distancia de desplazamiento, sino que se enfoca en la relación entre la fuerza y la deformación (Ver figura 2) (Burstone & Koenig, 1976; Verstryngge et al., 2006).

**Figura 2.** *Comportamiento de las características extrínsecas en la gráfica fuerza/deflexión*



Tomada de Ortodoncia teoría y clínica, Gonzalo Uribe (Uribe Restrepo G., 2010).

**4.1.1.3 Límite elástico o proporcional.** Es una zona en la curva de esfuerzo-deformación de un material. Gráficamente, corresponde a la sección diagonal antes de la curva. Si la fuerza aplicada al alambre supera este límite, el alambre comenzará a experimentar cambios permanentes, ya que la relación entre la fuerza y la deformación ya no será directamente proporcional, y se producirá una mayor deformación por cada unidad adicional de fuerza aplicada. En otras palabras, el material comenzará a deformarse de manera irreversible (Burstone & Koenig, 1976; Verstryngge et al., 2006).

Es importante señalar que, para muchos metales, el límite proporcional es igual al límite elástico. Esto significa que, en la práctica, el punto en el que el material comienza a experimentar deformaciones permanentes coincide con el punto en el que la relación lineal entre la fuerza y la

deformación ya no se mantiene. Una vez que se supera el límite proporcional o el límite elástico, el material no puede recuperar completamente su forma original y experimentará una deformación permanente incluso si se retira la fuerza aplicada (Ver figura 2) (Burstone & Koenig, 1976; Verstryngge et al., 2006).

**4.1.1.4 El límite elástico aparente.** El límite elástico aparente se define como el punto en la curva donde el alambre experimenta una deformación del 0,1%. Este punto es crucial ya que marca un umbral significativo en el comportamiento del material. Aunque existen diferencias técnicas entre el límite proporcional, el límite elástico y el límite elástico aparente, estas son mínimas y se pueden considerar intercambiables en la práctica, siendo el límite proporcional el valor más conservador para medir la resistencia de un alambre ante la carga máxima antes de sufrir deformaciones permanentes (Ver figura 2) (Kapila & Sachdeva, 1989).

**4.1.1.5. Punto de carga clínica arbitraria.** A partir de este punto el alambre entra en un rango de inestabilidad y puede dañarse de forma irreparable (Ver figura 2) (Uribe & Uribe, 2019).

**4.1.1.6 Punto de ruptura.** El punto o zona de ruptura es donde un elemento sufre la separación total de su estructura, se considera un punto aparente cuando indica el inicio de un proceso de fractura y se considera un punto real, cuando ocurre el proceso de separación final (Ver figura 2) (Daniele Cantarella, 2013).

En la práctica ortodóncica, el punto de ruptura se considera en un rango que se encuentra entre el límite elástico aparente y el punto de carga clínica arbitraria. Este rango es relevante cuando se fabrican ansas o se realizan dobleces permanentes en los alambres. Lo anterior, representa la zona plástica del material, lo que le otorga su característica de moldeabilidad, es decir, la capacidad de

deformarse sin romperse, lo que facilita su conformación y ajuste en el tratamiento ortodóncico. Se espera que un alambre permita la realización de dobleces, ansas y activaciones dentro del rango plástico, sin llegar fácilmente al límite de ruptura, permitiendo así numerosas intervenciones que provean un movimiento dental deseado (Daniele Cantarella, 2013).

#### ***4.1.2 Características intrínsecas de los alambres de ortodoncia***

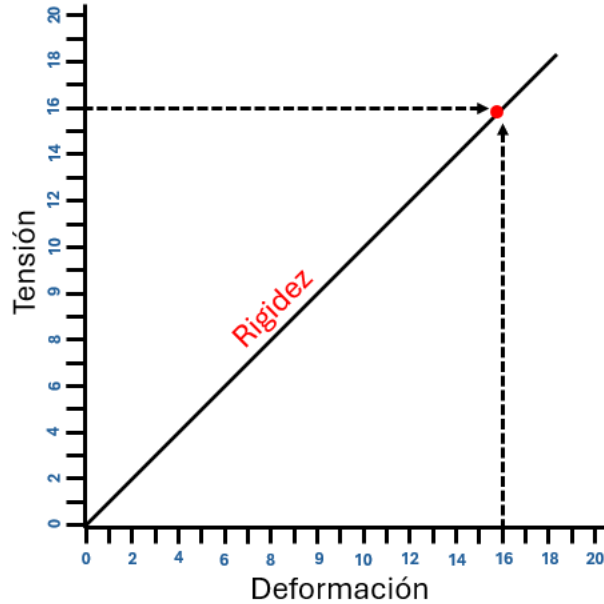
Las propiedades intrínsecas son características inherentes del alambre determinadas por su composición molecular o cristalina. Cambios en estas propiedades pueden alterar fundamentalmente la naturaleza de la aleación.

Las características intrínsecas, hacen referencia a factores de tensión, deformación, enfoques de referencia como la ley de Hooke, módulos de Young o Ley de Young, rango de trabajo y maleabilidad. Es por esto que, en términos de elasticidad al hablar de características intrínsecas, nos enfocamos en la respuesta tensión-deformación. En este contexto, tanto la tensión como la deformación se refieren al comportamiento interno del material bajo estudio: la tensión se refiere a la distribución interna de la carga, expresada en términos de fuerza por unidad de superficie, mientras que la deformación representa la distorsión interna, causada por dicha carga, medida en términos de desviación por unidad de longitud (Kusy, 1983).

Cada material presenta una respuesta característica en el gráfico de tensión-deformación, esta respuesta muestra variaciones que se mantienen dentro de límites específicos y están influenciadas por el proceso de fabricación del material. En este ámbito, las pruebas en biomateriales dentales se emplean para garantizar la calidad durante la producción y proporcionar mediciones precisas de la deformación con relación al esfuerzo aplicado. En consecuencia, cuando expresamos todas las mediciones de una pieza en un gráfico, obtenemos una representación altamente precisa de cómo el material se comporta a lo largo de la prueba. En este análisis, se considera que a medida

que se incrementa la tensión, la deformación también aumenta, y estas dos variables se desarrollan de manera simultánea (Raymond C. Thurow, 1982).

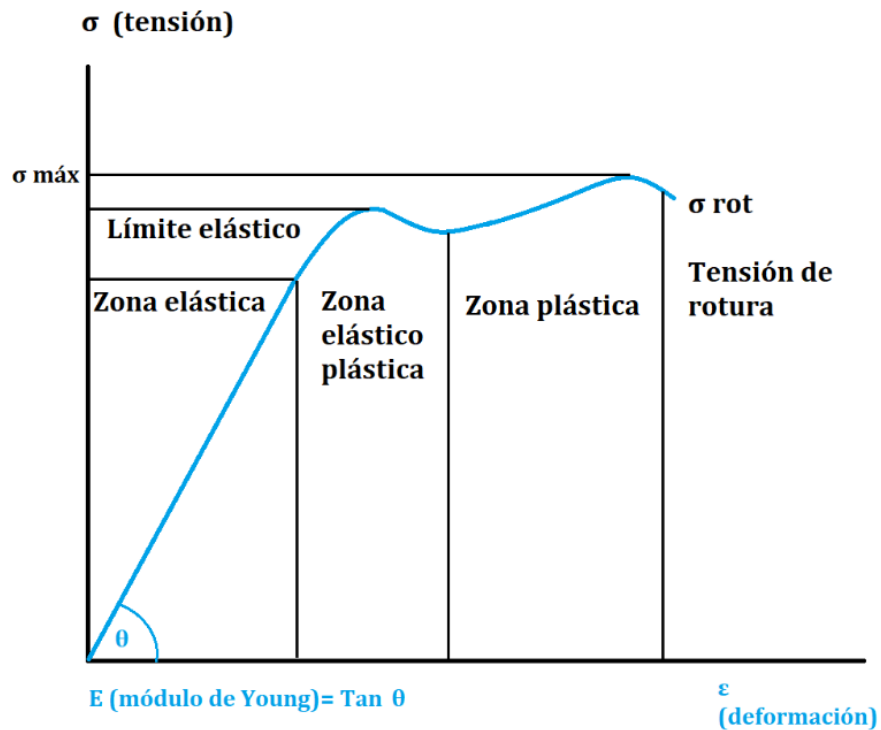
**Figura 3.** *Grafica que relaciona la curva tensión/deformación* (Raymond C. Thurow, 1982).



Tomada de Ortodoncia teoría y clínica, Gonzalo Uribe (Uribe Restrepo G., 2010).

Por lo general, al principio de la curva se representa una línea recta, lo cual sugiere que la deformación y la tensión, están en proporción (Ver figura 3). Esta proporcionalidad es el concepto fundamental de la Ley de Hooke (Ver Figura 4), particularmente en el contexto de los resortes. En este escenario, los resortes se estiran de manera equivalente a la tensión aplicada (Raymond C. Thurow, 1982).

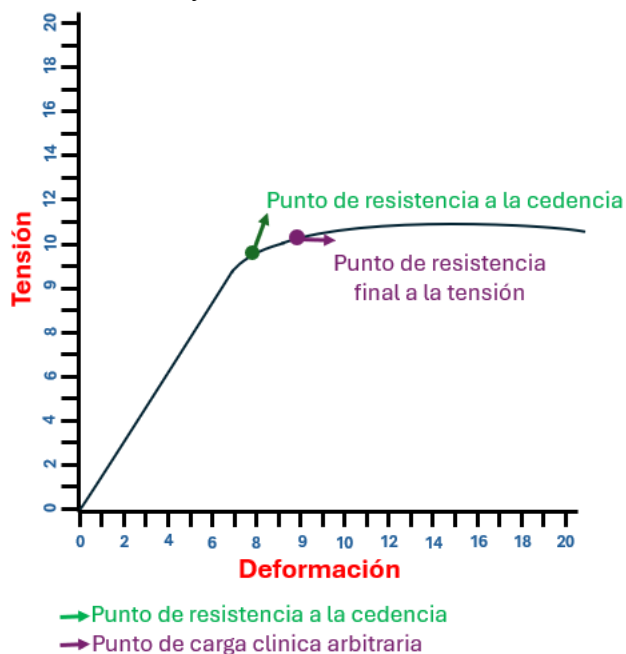
**Figura 4.** Ley de Hooke, Comportamiento de un material bajo la gráfica de tensión/deformación



Tomada de Edgewise appliance, Raymond Thurow (Raymond C. Thurow, 1982).

La respuesta observada en la curva de tensión/deformación es esencial para definir la manera en que los materiales responden internamente ante una carga externa. La tensión y la deformación hacen referencia al estado interno del material y están influenciadas por factores como el tipo de aleación y la sección transversal o diámetro del alambre (entre otros factores mencionados anteriormente como extrínsecos) (Kapila & Sachdeva, 1989).

Figura 5. Puntos de la curva tensión/deformación



Tomada de Ortodoncia teoría y clínica, Gonzalo Uribe(Uribe Restrepo G., 2010).

**4.1.2.1 Tensión o esfuerzo.** Es la distribución interna de la carga, definida en términos de esfuerzo por unidad de área o superficie. Se mide en pascales (Pa) y, mientras la carga se representa habitualmente con la letra delta  $\Delta$ , la tensión se representa habitualmente con la letra sigma  $\sigma$  (Kapila & Sachdeva, 1989).

**4.1.2.2 Deformación.** Es la distorsión interna producida por la carga definida en términos de desviación por unidad de longitud. Se representa por medio de la letra épsilon ( $\epsilon$ ) (Kapila & Sachdeva, 1989)

**4.1.2.3 Ley de Hooke.** La relación entre la tensión y la deformación es proporcional hasta alcanzar el límite. Por cada unidad de tensión aplicada, se produce una unidad de deformación. Dentro del rango elástico, la tensión es directamente proporcional a la deformación para aquellos materiales que siguen esta ley, lo que se refleja en un diagrama gráfico como una línea recta. Esta ley sostiene que la proporcionalidad existe hasta alcanzar un límite, siendo el límite proporcional la zona donde se “pierde” esa relación lineal, y el límite elástico la zona donde inicia un cambio permanente o deformación plástica en el material. (Giuliodori et al., 2009; Kapila & Sachdeva, 1989).

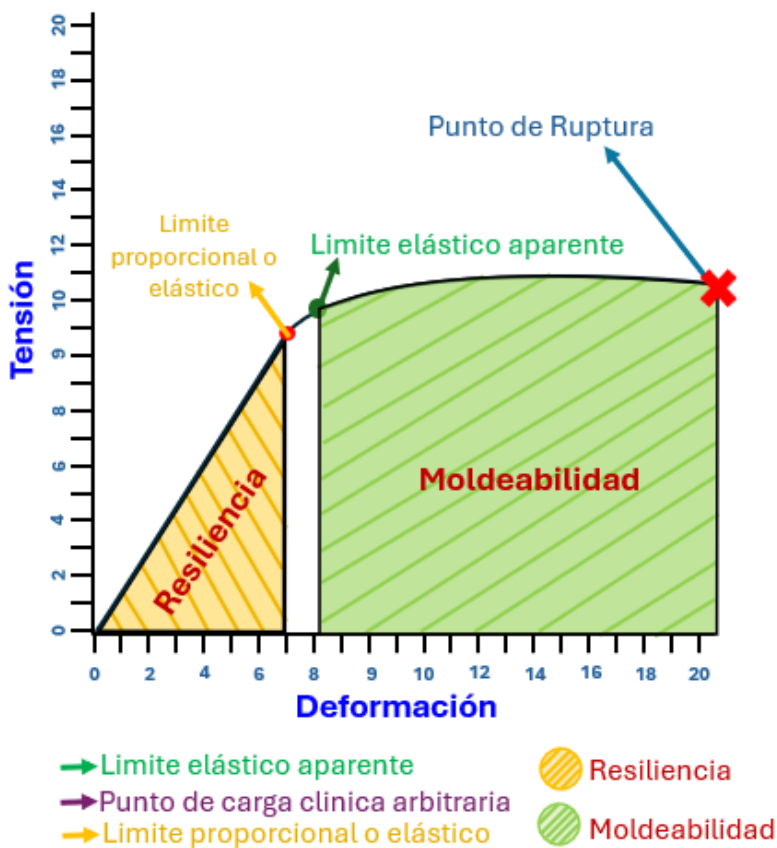
**4.1.2.3.1 Módulo de elasticidad o módulo de Young.** Es la constante que define la relación lineal en la Ley de Hooke, representando la pendiente de la curva. Se define como el cociente entre el estrés tensil o compresivo y la deformación dentro del límite elástico. Una menor pendiente indica una mayor elasticidad del alambre. Cuando la carga es directamente proporcional a la deformación dentro del rango elástico, el módulo de elasticidad actúa como una constante de proporcionalidad (Kapila & Sachdeva, 1989).

**4.1.2.3.2 Rango de trabajo.** Corresponde a la cantidad de deformación elástica que puede soportar un arco de alambre antes de sufrir una deformación permanente. Está afectada por varios factores, incluyendo la forma del alambre y el tamaño (longitud y sección transversal). Un alambre con un amplio rango de trabajo permite mayores activaciones o deflexiones (Raymond C. Thurow, 1982).

**4.1.2.3.3 Resiliencia y moldeabilidad.** Se pueden destacar como propiedades de importancia clínica, donde la resiliencia se refiere al área bajo la curva de tensión/deformación hasta alcanzar el

límite proporcional (ver figura 6), y se puede definir como la capacidad del alambre para retener o almacenar energía y es el resultado de una combinación entre su resistencia y su elasticidad. Por otro lado, la moldeabilidad, se refiere a la cantidad de deformación permanente que un alambre puede soportar antes de fracturarse. Esta propiedad refleja el grado de flexión permanente que el alambre puede tolerar y es aquella que permite al clínico la elaboración de dobleces y ansas en los alambres de ortodoncia (Y. Wang et al., 2009).

**Figura 6.** *La resiliencia y la moldeabilidad.*



Tomada de Ortodoncia teoría y clínica, Gonzalo Uribe(Urbe Restrepo G., 2010).

De aquellas propiedades mencionadas, las que consideramos fundamentales de un alambre ideal para su uso en ortodoncia pueden definirse principalmente a través de los siguientes criterios:

1) alta resistencia; 2) baja rigidez (en la mayoría de las aplicaciones o en las primeras fases de tratamiento); 3) capacidad de deformación significativa (elasticidad); y 4) moldeabilidad. También es importante que el material sea asequible en términos de costo/beneficio (Proffit W, 2014).

**4.1.2.3.4 Módulo de dureza.** El área bajo la curva de tensión/deformación hasta el punto de fractura es crucial para evaluar la resistencia de un material. Esta relación define el módulo de elasticidad del material y junto con otros factores como el coeficiente de fricción (K), determina la rigidez de sistemas ortodónticos. La rigidez puede ajustarse variando la longitud o el diámetro del alambre. El módulo de elasticidad, constante para cada material, permite usar diferentes materiales con valores de rigidez diferencial, sin cambiar el tamaño, calibre o sección transversal (Kapila & Sachdeva, 1989).

- Límite proporcional. Es el punto a partir del cual, el alambre muestra un cambio en la relación proporcional inicial, donde la carga/tensión aplicada, generaba una deflexión/deformación en igual proporción. Es un punto a partir de cual, se genera una pérdida de relación lineal, y la deformación no será proporcional al esfuerzo aplicado (Aristizábal, 2010).

- Límite elástico. Es el punto donde el alambre comienza a deformarse permanentemente, también se denomina punto de resistencia a la cedencia, también conocido como límite elástico. Por otro lado, el punto más alto de carga antes de la fractura, íntimamente relacionado con el límite elástico, se conoce como punto de resistencia final a la tensión, también llamado punto de carga clínica arbitraria. Estos puntos no solo revelan la máxima carga que el alambre puede soportar, sino también la fuerza máxima que puede generar (Ver figura 5)(Uribe Restrepo G., 2010).

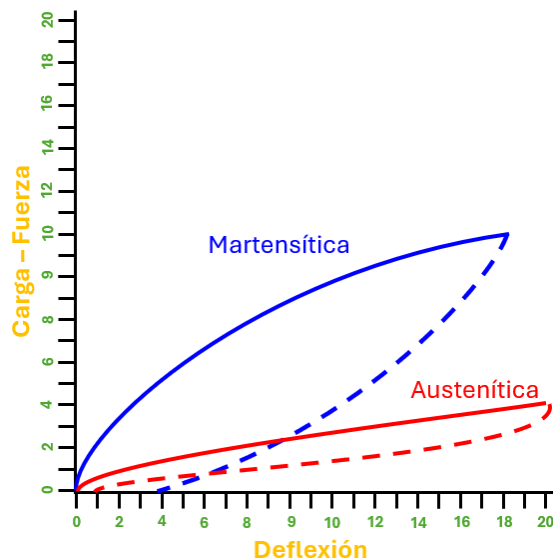
## 4.2 Alambres en ortodoncia

**4.2.1 Acero.** El acero comercial es una aleación de hierro o ferrita, que en su estado natural presenta propiedades inestables, es por esto, que añaden metales como el cromo, níquel y carbono, que confieren dureza a la aleación y su comportamiento clásico. El acero inoxidable, por su parte, se introdujo en 1929, desplazando poco a poco el oro como primera elección, al entregar ventajas en términos de módulo de elasticidad, facilidad de soldadura, moldeabilidad, baja fricción, resistencia a la corrosión y bajo costo. Los alambres de acero inoxidable utilizados en ortodoncia se fabrican principalmente como una aleación específica conocida como acero inoxidable austenítico, o acero en fase austenítica, con una estructura cúbica central. Estos materiales son biocompatibles, lo que los hace seguros para tratamientos a largo plazo al no causar reacciones adversas en la boca. La resistencia a la corrosión se logra gracias al contenido de cromo, que forma una capa protectora de óxido de cromo en la superficie del alambre. Además, el níquel y, en aleaciones como el tipo 316, el molibdeno, mejoran tanto la resistencia como la ductilidad del alambre, permitiendo que se pueda doblar y ajustar sin romperse fácilmente. Desde el punto de vista metalúrgico, los aceros inoxidables austeníticos se distinguen por su estructura cristalina llamada austenita, estable a temperatura ambiente debido a elementos de aleación como el níquel y el manganeso, que estabilizan esta fase. El endurecimiento intersticial con carbono y el trabajo en frío son técnicas que contribuyen al alto límite elástico y al módulo de elasticidad del acero inoxidable, aunque las tensiones residuales resultantes de doblar el alambre pueden afectar significativamente sus propiedades elásticas. (Kapila & Sachdeva, 1989).

**4.2.2 NiTi.** Los arcos de NiTi (níquel-titanio), que actualmente cuentan con diversas categorías, surgieron inicialmente como Nitinol, nombre establecido por el acrónimo de Naval

Ordinance Laboratory, Laboratorio Naval de los Estados Unidos donde se implementó por primera vez mediante el desarrollo de William F. Buehler de la NASA a principios de los años sesenta, siendo conocidos como arcos de Nitinol y utilizados en Ortodoncia por medio de George F. Andreasen de la universidad de Iowa, en 1971. Son ampliamente utilizados en ortodoncia debido a sus propiedades metalúrgicas únicas. Estos arcos destacan por su alta elasticidad y memoria de forma. Los alambres de NiTi exhiben dos fases principales, austenítica y martensítica, dependiendo de la temperatura y la tensión aplicada, que son cruciales para su comportamiento característico. En la fase austenítica, con una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC) estable a altas temperaturas, el NiTi es fuerte, rígido y menos deformable, volviendo a esta fase al calentarse por encima de la temperatura de transformación. En contraste, en la fase martensítica, con una estructura cristalina tetragonal centrada en el cuerpo (BCT) estable a bajas temperaturas, el material es más blando y deformable, permitiendo una fácil deformación bajo tensión y facilitando la memoria de forma de estas aleaciones (Ver Figura 7). Este comportamiento de transformación de fases permite dos fenómenos importantes: la memoria de forma, donde el material recupera su forma original por estímulos térmicos, al calentarse desde la fase martensítica a la austenítica superando la temperatura de transición, y la superelasticidad, donde el Ni-Ti, estando en fase austenítica y sometido a tensión, puede transformarse localmente a martensita bajo estrés, recuperando casi completamente su forma original al liberar la tensión, entregando fuerzas bajas y constantes durante la desactivación (Burstone et al., 1985; Megi et al., 1915).

**Figura 7.** *Comportamiento del NiTi*



Tomada de The biomechanical foundation of clinical orthodontics, Burstone (CharlesJ .Burstone, 2015b)

Las aleaciones de acero inoxidable son las más utilizadas a la fecha en la especialidad de ortodoncia, y su propiedad de moldeabilidad permite la confección de aditamentos, ansas o resortes en las diferentes fases de los tratamientos (19).

### 4.3 Ansas

Un ansa es un aditamento que se comporta como resorte, confeccionado en un alambre redondo o rectangular que dependiendo de la forma geométrica y de la cantidad de alambre involucrado en su fabricación, permite modificar las tres propiedades básicas mencionadas en la literatura: rigidez, resistencia y rango de trabajo, y de esta manera, permite cambios importantes en la magnitud de fuerza entregada a una o más piezas dentales (Alvarez Moreno E et al., 2015).

#### 4.3.1 Elementos que forman un ansa.

Está compuesta por base y brazos, partes que no son fijas y dependen de la dirección de activación. Para movimientos horizontales las bases serán los segmentos horizontales mientras los

brazos serán los segmentos verticales. Contrario a ello, para movimientos verticales, las bases serán los segmentos verticales y los brazos serán los segmentos horizontales (Uribe Restrepo G., 2010). Es por esto por lo que los representamos de acuerdo al tipo de movimiento como se observa a continuación: (Ver figura 8)

**Figura 8.** Activación de las ansas de acuerdo con sus componentes



**4.3.1.1 La base.** La base de las ansas será paralela a la dirección de movimiento, puede ser elaborada en forma recta o curva. Para aumentar el rango de trabajo y proporcionar flexibilidad, se amplían y se les añaden helicoides (Uribe Restrepo G., 2010).

**4.3.1.2 Los brazos.** Los brazos de las ansas serán perpendiculares a la dirección de movimiento, y su extensión determina la rigidez y, por tanto, la fuerza que los resortes ejercen:

cuanto más largos sean, menor será la fuerza que produzcan. La altura de las ansas varía típicamente entre 5 y 7mm. Un aumento de 2 mm en la altura reduce la fuerza en un 50%. Sin embargo, cabe resaltar que una altura de 6mm que es una dimensión comúnmente utilizada, no genera un aumento sustancial en la relación entre el momento y la fuerza, y alturas muy elevadas pueden contar con limitantes anatómicas que dificultan su uso, es por esto, que añadir helicoides y aumentar el segmento horizontal, siguen siendo las estrategias más empleadas (Uribe Restrepo G., 2010).

#### ***4.3.2 El diseño de las ansas.***

El diseño y la configuración inciden en forma directa en el desempeño mecánico. Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: la forma geométrica, el calibre del alambre, su configuración abierta o cerrada, el módulo de elasticidad asociado al material de fabricación, la longitud del alambre, la altura de los brazos, la amplitud de la base, la cantidad de espirales (Uribe Restrepo G., 2010).

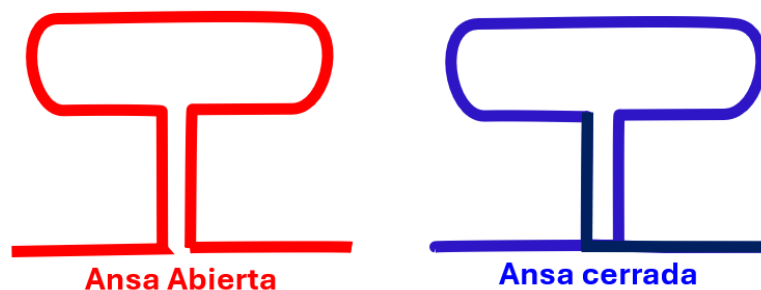
Durante la confección de las bases y brazos, tomamos decisiones con gran impacto clínico trabajando dentro de los límites de una de las propiedades más relevantes en estas aleaciones: la moldeabilidad. Aquellas aleaciones moldeables, son las que nos van a permitir manipular plásticamente el material, generar deformaciones permanentes, realizar dobleces y elaborar ansas, sin llegar al límite de ruptura. El acero es una aleación con excelente moldeabilidad, y en el momento de la confección de ansas, debemos decidir la dirección/sentido de los dobleces, la posibilidad de añadir helicoides o incrementar la longitud del arco adicionando segmentos horizontales o verticales, acorde a los principios básicos de estos resortes. Es en este paso, donde el efecto Bauschinger tendrá un impacto significativo (Raymond C. Thurow, 1982).

**4.3.2.1 Elementos horizontales.** Las ansas están diseñadas con elementos horizontales que les proporcionan un amplio rango de trabajo, elasticidad y memoria de recuperación elástica. La acción mecánica de estos elementos se manifiesta principalmente en el plano vertical (Uribe Restrepo G., 2010).

**4.3.2.2 Elementos verticales.** Los elementos verticales incorporados en las ansas les proporcionan un moderado rango de trabajo, elasticidad y memoria. La acción mecánica de estas ansas se manifiesta principalmente en el plano horizontal (Uribe Restrepo G., 2010).

**4.3.2.3 Configuración de ansas cerradas y abiertas.** Las ansas cerradas y abiertas del mismo diseño tienen la misma proporción de momento y fuerza. Sin embargo, las ansas cerradas presentan una pendiente reducida en la curva carga/deflexión y requieren una menor fuerza de activación (Ver figura 8) (Uribe Restrepo G., 2010).

**Figura 9.** *Diseño de ansas cerradas y abiertas*



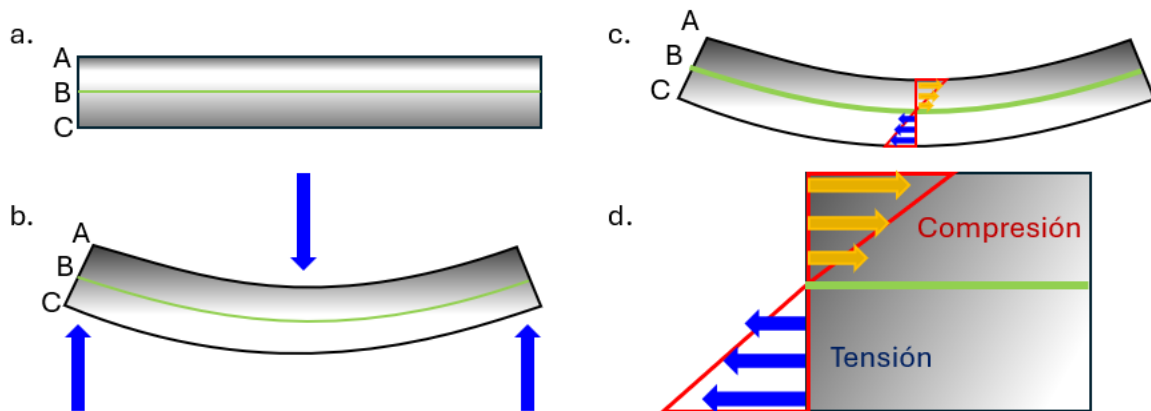
#### **4.3.3 La activación de las ansas.**

Una de las funciones principales de las ansas es la disminución en rigidez y el aumento en el rango de trabajo, y uno de sus principios básicos es que deben ser activadas en dirección perpendicular a los brazos. (Raymond C. Thurow, 1982).

La activación implica deformarlas temporalmente para que funcionen como resortes o elementos muy elásticos. Es crucial mantener la misma proporción de carga (M) y fuerza (F) tanto al activarlas como al desactivarlas para controlar el movimiento dental y prevenir efectos secundarios como la inclinación (Moreno Moreno J. et al., 2016)

**4.3.3.1 Distribución de tensiones en un ansa:** Agregar curvas, como loops en un alambre recto cambia significativamente su comportamiento bajo tensión. Un alambre recto manifiesta una alta relación  $F/\Delta$ , mostrando una elongación mínima ( $\Delta L1$ ). En contraste, al introducir curvas, la relación  $F/\Delta$  disminuye considerablemente, permitiendo una mayor elongación ( $\Delta L2$ ) con la misma fuerza aplicada. Las curvas redistribuyen las tensiones a lo largo del alambre: la parte superior se comprime y la inferior se tensiona. Cerca del centro del alambre, existe un punto neutro donde no hay cambio de longitud ni tensión. Este cambio mecánico hace que el alambre sea menos rígido y más elástico, volviéndolo útil como resorte en diversas aplicaciones prácticas (Ver figura 10) (CharlesJ .Burstone, 2015b).

**Figura 10.** Distribución de tensiones en un ansa a). Antes de aplicar la fuerza. b). Después de aplicar la fuerza. c y d). Patrón de distribución de esfuerzos en un corte imaginario (sección) del alambre.

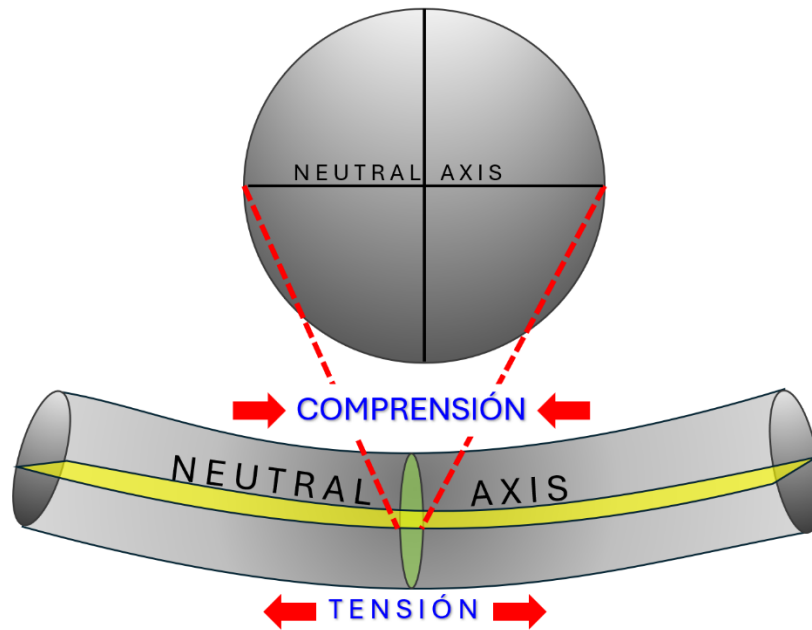


Tomada de *The biomechanical foundation of clinical orthodontics*, Burstone(CharlesJ .Burstone, 2015b).

Para entender lo anterior, es fundamental citar la imagen a continuación de R. Thurow donde los esfuerzos aplicados en el alambre resultan en una compresión y tensión en superficies opuestas del mismo, generando cambios internos o dislocaciones en el material. Estos cambios internos producto de una dirección/sentido específico de aplicación de esfuerzos, se comportarán como antecedente o historial de carga (Ver figura 11) (Raymond C. Thurow, 1982).

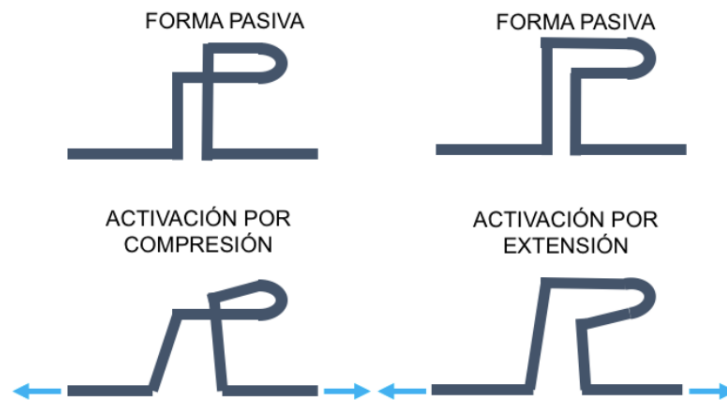
Estos antecedentes de esfuerzos/cargas o historial de deformaciones, dictan el sentido/dirección ideal de las activaciones para estas ansas, entendiendo que el rango elástico se puede incrementar realizando su activación en la misma dirección de fabricación, y se puede disminuir mediante una activación en dirección opuesta. Por tanto, elaborar ansas por medio de compresión, hace que su activación ideal sea en este mismo sentido (Ver figura 12). Una activación en sentido contrario va a generar extensión, resultando en un límite elástico menor, aplicación directa del principio de Bauschinger que se aborda a continuación. (Raymond C. Thurow, 1982).

**Figura 11.** *Esfuerzos aplicados en el alambre*



Tomada de Edgewise appliance, Raymond Thurow(Raymond C. Thurow, 1982).

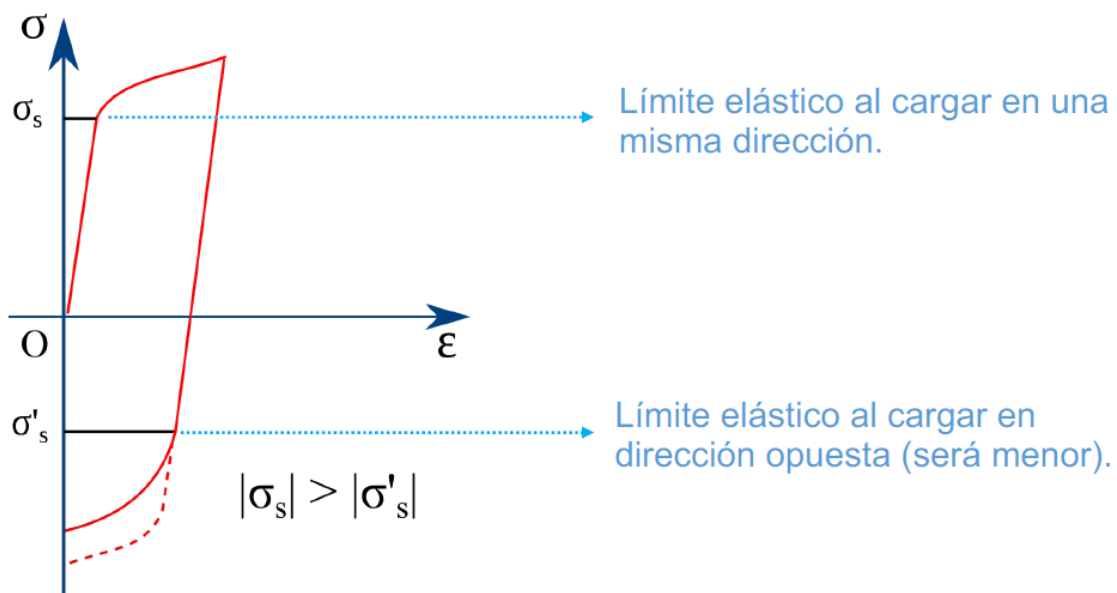
**Figura 12.** Forma pasiva y activa en ansas cerradas y abiertas



#### 4.4 Efecto Bauschinger

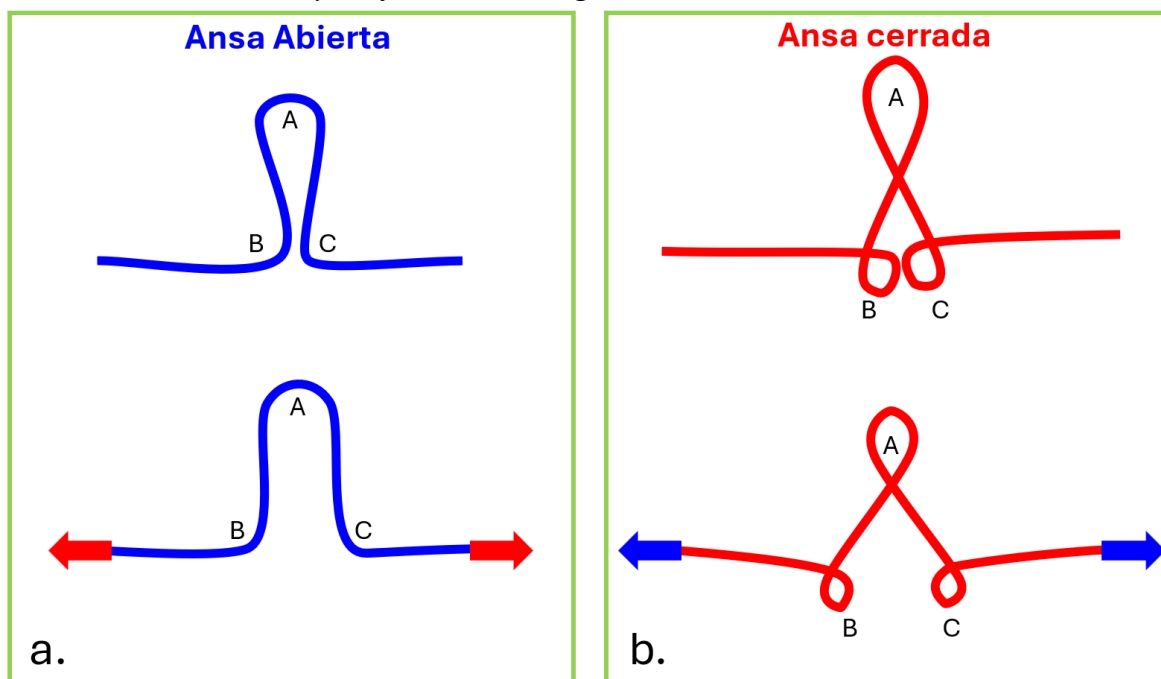
El efecto Bauschinger generalmente se asocia con situaciones en las que el límite elástico de un material disminuye al cambiar la dirección de la tensión. Este fenómeno es común en la mayoría de los metales policristalinos y ocurre cuando el metal se deforma en una dirección hasta que se sobrepasa su límite de elasticidad y luego se deforma en la dirección opuesta, lo que resulta en una disminución del límite de proporcionalidad en esta última dirección (Ver figura 13). La figura 13 es la representación clásica del efecto Bauschinger, donde inicialmente existe una relación lineal o proporcional tensión/deformación, hasta el límite elástico y proporcional, cuando se supera este límite, se genera una deformación permanente, y es allí, donde retirar la tensión va a desencadenar un descenso lineal paralelo a la porción inicial. Sin embargo, si se realiza una activación en dirección opuesta, la gráfica desciende a su porción contraria y es allí, donde el límite elástico será menor (Burstone & Koenig, 1976; Gennadiovych Kostryzhev A, 2009).

**Figura 13.** *Grafica del efecto Bauschinger.*



En cuanto a las ansas, como se mencionó anteriormente y se mostró en la figura 12, es importante entender que su fabricación compromete esfuerzos de compresión y es por esto, que tradicionalmente se habla en Ortodoncia de la importancia de activar estos resortes en una misma dirección, es decir: una activación por compresión y no por extensión, de aquel segmento que se ha moldeado. En la figura 14 a continuación, se muestra un segundo ejemplo de efecto Bauschinger aplicado a las ansas, en la primera de ellas (ansa abierta 14a), una activación de apertura como se muestra con vectores de color rojo, va a generar extensión, donde se van a desarrollar numerosas zonas críticas, alteración en la disposición atómica interna del material por cambios en el historial de dislocaciones, esto es comúnmente llamado: desarrollo de zonas de estrés, y su impacto clínico se traduce en un menor límite elástico y por tanto, en menor magnitud de carga necesaria para llegar a una deformación permanente (2).

Contrario a ello, el segundo resorte (14b) que corresponde a un ansa cerrada, va a desencadenar compresión cuando se realiza la activación que corresponde a los vectores de color azul. Aplicar estos esfuerzos de activación, va a generar compresión en los diferentes helicoides del ansa, y esta compresión será acorde al historial de dislocaciones o esfuerzos que ha presentado el material, esto permite que su comportamiento elástico no se comprometa y con ello, su límite elástico/proporcional (2).

**Figura 14.** *Diseño del ansa y el efecto Bauschinger.*

Tomada de *The biomechanical foundation of clinical orthodontics*, Burstone (Charles J. Burstone, 2015b).

El loop cerrado (b) muestra una mayor resistencia a la deformación permanente y ofrece un rango elástico de acción más amplio. Esto se debe no solo al uso de más alambre en su diseño, sino también a que todas las curvas se activan en la misma dirección en la que fueron fabricadas. Este fenómeno es un ejemplo del efecto Bauschinger, el cual se explica por la creación de tensiones residuales favorables en el alambre durante su fabricación (Charles J. Burstone, 2015b).

Para lograr la forma final deseada de un alambre en ortodoncia, el ortodoncista a menudo realiza un doblado excesivo, invirtiendo la dirección de la curvatura inicial. Este proceso garantiza que la última curvatura tenga la orientación adecuada para generar una tensión residual beneficiosa durante la activación del alambre. El exceso de flexión, proporciona una resistencia adicional contra la deformación permanente, lo que significa que el alambre puede mantener su forma y función

durante un período prolongado sin deformarse. Esto también amplía el rango en el cual el alambre puede ser activado para aplicar fuerzas ortodónticas necesarias (Ribeiro & Jacob, 2016).

Por otra parte, cuando se desea controlar este historial de deformaciones o reducirlo, con el objetivo de optimizar las propiedades mecánicas del alambre, asegurando que pueda soportar las tensiones sin comprometer su límite de elasticidad, se realiza un proceso conocido como liberación de tensiones. Proceso que permite reajustar las relaciones intermoleculares y en la estructura cristalina del material. Para lograr lo anterior, el acero se somete a una temperatura llamada: grados o temperatura de recristalización, que generalmente oscila entre los 400 y los 700°C, donde se ha encontrado que la reducción en este historial de deformaciones permite una reducción a su vez, en el efecto Bauschinger del material (Ribeiro & Jacob, 2016).

#### ***4.4.1 Efecto Bauschinger en los aceros***

El efecto Bauschinger que se produce en los aceros depende de varios factores, como la composición química del acero, la estructura de las dislocaciones y la distribución interna de partículas (que están relacionadas con la composición química del acero y los parámetros de procesamiento utilizados). Cuando aumenta la deformación previa en el material, se observa que la disminución en el límite elástico de los aceros durante la carga inversa también aumenta. Esto se debe a que la deformación previa conduce a un aumento en la densidad de dislocación del material y, como resultado, se incrementa la densidad de lugares donde las dislocaciones interactúan con partículas (Kapila & Sachdeva, 1989).

Los aceros exhiben una caída de rendimiento más pronunciada al principio de la deformación inversa. Esto se debe a que estos materiales contienen una mayor cantidad de partículas dispersas en su estructura, lo que hace que la interacción entre las dislocaciones y las partículas sea más significativa durante la deformación inversa (Kapila & Sachdeva, 1989).

#### ***4.4.2 Efecto Bauschinger según propiedades extrínsecas***

En términos de las características extrínsecas de un alambre, el efecto Bauschinger estará determinado por su rigidez, resistencia y límite elástico. En este contexto, se trata de un efecto que muestra cómo el comportamiento mecánico del material puede cambiar dependiendo de la dirección de las cargas aplicadas, donde se reduce la resistencia mecánica del material al invertir la dirección/sentido de las cargas de compresión y tracción. Por esto, en la medida en que aplicamos una carga al alambre o lo deformamos hasta exceder su límite de elasticidad y luego ejercemos sobre él una deformación en sentido opuesto, el límite elástico se reducirá (Raymond C. Thurow, 1982; Xiang & Vlassak, 2005).

Con respecto a la longitud de alambre involucrada en las ansas y su impacto en el efecto Bauschinger, es necesario calcular con un ejemplo habitual, el cambio en las propiedades básicas con variaciones en longitud desde 2 hasta 4mm del material. En cuanto a la rigidez, encontramos que se reduce 0.1 veces, mientras la resistencia se reduce 0.5 veces y el rango de trabajo aumenta 4 veces, lo anterior, teniendo en cuenta las ecuaciones presentadas en el libro de R. Thurow para el cálculo de propiedades básicas del material. Finalmente, si tenemos un rango de trabajo mayor, y definimos esta propiedad como una proyección del límite elástico en el eje de la deformación, encontraremos un límite elástico superior, donde el efecto Bauschinger tendrá un impacto clínico significativamente menor, entendiendo que las activaciones realizadas en estas ansas en la práctica profesional son realmente bajas para evitar esfuerzos o estímulos excesivos en las piezas dentales y su soporte periodontal (2).

#### ***4.4.3 Efecto Bauschinger según propiedades intrínsecas***

Ahora, en términos de las características intrínsecas, es necesario mencionar el comportamiento tensión/deformación y su relación con el efecto Bauschinger. Internamente, las

partículas que conforman las diferentes aleaciones en ortodoncia sufren cambios cuando se aplican cargas, cambios que generalmente en el caso de confección de ansas o dobleces, se realizan por una compresión, donde las partículas internas se aproximan. Posterior a esto, cuando aplicamos un nuevo esfuerzo en un sentido opuesto (por ejemplo, un esfuerzo de tracción), las partículas internamente sufren una separación o aumento de distancia entre las mismas, y es esta diferencia en esfuerzos, la que genera un cambio interno en el material y compromete su respuesta de recuperación elástica. Es por esto, que se sugiere mantener durante la activación, el mismo tipo de esfuerzo empleado durante la confección de un doblez o ansa, de esta forma, internamente el material no sufrirá cambios sustanciales de unión/separación de partículas, y su rendimiento clínico será superior (Raymond C. Thurow, 1982; Xiang & Vlassak, 2005).

## **5. Método**

### **5.1 Tipo de estudio**

Se llevó a cabo una revisión sistemática rápida de la literatura, utilizando como base revistas científicas indexadas en bases de datos de ciencias de la salud, ingeniería y ciencia de materiales. Este enfoque implica una síntesis de conocimiento que acelera el proceso de una revisión sistemática tradicional al racionalizar u omitir varios métodos, con el fin de proporcionar evidencia de manera eficiente y optimizar el uso de recursos para las partes interesadas (Garritty et al., 2021; Tapia-Benavente et al., 2021)

### **5.2 Población y muestra**

### **5.2.1 Muestra**

Se utilizaron artículos encontrados en revistas científicas indexadas y bases de datos de ortodoncia, ciencias de los materiales e ingeniería. Las principales bases de datos de referencia fueron: PubMed, EBSCOhost, Sience Direct, Google Académico, BVS, y fuentes adicionales como Librería de Cochrane, repositorio de la UIS y Scopus.

### **5.2.2 Población**

Se utilizaron todos los artículos encontrados en revistas científicas indexadas, en bases de datos de en ortodoncia, ciencias de los materiales e ingeniería.

### **5.2.3 Tamaño de muestra y muestreo**

**5.2.3.1 Muestra.** Artículos obtenidos luego de la revisión del título, resumen y aplicación de la herramienta de evaluación crítica del CEBM.

Las ecuaciones que se utilizaron para realizar la búsqueda en las siguientes bases de datos se encuentra anexas en los apéndices J, K, L.

## **5.3 Variables**

Las variables analizadas se detallan en el Apéndice A, específicamente en el Cuadro de Operacionalización de Variables. En este cuadro se proporciona información sobre la definición conceptual y operacional de cada variable, el tipo de variable, la escala de medición utilizada y los valores que puede asumir.

#### **5.4 Criterios de inclusión**

- Artículos originales publicados y disponibles.
- Artículos en los idiomas: inglés y español.
- Artículos dentro de las bases de datos: PubMed, EBSCOhost, Science Direct, Google Académico, BVS, y fuentes adicionales como Librería de Cochrane, repositorio de la UIS y Scopus, de acceso libre.

#### **5.5. Criterios de exclusión**

- Artículos no disponibles en la versión completa.
- Artículos duplicados en las bases de datos.
- Artículos que no correspondan a la temática de la investigación posterior a revisar el resumen y título.

### **6. Instrumento**

Se desarrolló una herramienta en Excel para registrar las siguientes variables: título, autores, revista, objetivo, área de estudio, diseño del estudio, aleaciones, metodología empleada, limitaciones y conclusiones que permitiera sintetizar la evidencia encontrada. Esta herramienta está disponible como anexo (ver Apéndice B). Para evaluar la calidad metodológica, se utilizó la herramienta de evaluación crítica CEBM con los artículos que cumplieron con los criterios de inclusión.

#### **6.1. Procedimientos**

Se empleó la ecuación de búsqueda en diversas bases de datos, complementando este proceso con una búsqueda manual mediante el método de "bola de nieve" a partir de los resultados previamente obtenidos en bases de datos como PubMed, Biomed Central, Ovid, Embase,

EBSCOhost, Science Direct, Google Académico, BVS, ISI, Cochrane Library, LILACS, Scielo, Scirus, Ajodo, Australian Orthodontic Journal y European Journal of Orthodontics. Esta búsqueda incluyó información relacionada con el efecto Bauschinger en diversos tipos de alambres y aleaciones, incluyendo los utilizados en ortodoncia.

Se utilizaron los siguientes términos de búsqueda para identificar los artículos: "Bauschinger", "Orthodontics", "Malocclusion", "Orthodontic wires", "Stainless steel", "Titanium", "Pearlitic steel", "Orthodontic wires", "Elastic limit", "Resistance", "Shape memory", "Tensions surface", "Springback", "Thermic treatment" entre otros (Ver apéndices J, K, L).

Después de la búsqueda inicial, se aplicó un primer filtro para eliminar los artículos duplicados. Luego, para gestionar eficientemente la cantidad de artículos, nosotros, los tres autores junto con el codirector, dividimos los artículos en grupos de dos. Cada grupo analizó los títulos y resúmenes de los artículos asignados para realizar una depuración inicial. En los siguientes filtros, llevamos a cabo la lectura de los artículos aplicando los criterios de elegibilidad (inclusión y exclusión). Finalmente, aplicamos el instrumento de recolección de datos diseñado específicamente para esta investigación a los artículos seleccionados (Ver apéndice B y tabla 4).

#### ***6.1.1. Extracción y manejo de los datos.***

La extracción fue realizada por dos evaluadores independientes y cegados, utilizando un formato diseñado previamente según el propósito del estudio; los desacuerdos fueron dirimidos por un consenso entre los investigadores.

#### ***6.1.2. Evaluación del riesgo de sesgo en los estudios incluidos.***

Se aplicó la lista de verificación correspondiente a cada diseño de manera no duplicada, según la herramienta de evaluación crítica del CEBM .

## **7. Consideraciones Éticas.**

Durante el estudio no se realizó intervención sobre personas. La revisión fue basada en toma de información de resultados publicados previamente, en la cual se respetaron los derechos de autor consignados en la Ley 23 de 1982 “Artículo 1: Los autores de obras literarias, científicas y artísticas gozarán de protección para sus obras en la forma prescrita por la presente ley y, en cuanto fuere compatible con ella, por el derecho común. También protege esta ley a los intérpretes o ejecutantes, a los productores de fonogramas y a los organismos de radiodifusión, en sus derechos conexos a los del autor” (Ley 1915 de 2018, Ver El Decreto Nacional 1474 de 2002, 2002).

## **8. Análisis estadístico**

Se construyeron tablas de Excel con un análisis univariado para describir los datos registrados en el instrumento, en el cual se clasificaron los estudios según país, año y síntesis de información. Las variables categóricas fueron descritas como frecuencias absolutas y relativas, mientras las variables continuas fueron descritas como promedios. Se registraron las características principales de los estudios incluidos, autor/año, diseño de investigación, datos indispensables de la pregunta de investigación y variables asociadas. Adicionalmente, se llevó a cabo una síntesis narrativa de tipo cualitativo para condensar la evidencia acerca de los diferentes parámetros aplicados a los alambres empleados en ortodoncia (Apéndice C).

## **9. Resultados**

En la búsqueda inicial, se identificaron un total de 13.732 artículos relacionados con el tema de estudio (ver tabla 1 y flujograma PRISMA) en las diferentes bases de datos. Posteriormente

quedaron 60 artículos con potencial para una revisión más exhaustiva y finalmente 6 artículos fueron incluidos en texto completo.

**Tabla 1.** Resultados según base de datos o motor de búsqueda.

Motor o base de datos	Resultados obtenidos
Google académico bauschinger effect in orthodontics 276 totales de los cuales se tomaron las 10 primeras paginas	97
BVS/ (bauschinger) restringido a título resumen resultados	37
Ebscohost/ bauschinger effect in orthodontics	695
Science Direct / Title, abstract or author-specified keywords (bauschinger effect)	740
Pubmed	9,244
OVID: general.	2.157
Librería de Cochrane/ con el término Bauschinger restringido a título resumen y palabras claves	0
Repositorio institucional de la UIS/ restringiendo al título las frases "bauschinger effect"	293
Scopus/ restringiendo "bauschinger effect" al título del artículo y al idioma inglés y solo artículos y conferencias	464
Total, sin eliminar duplicaocs:	13732

*Nota: descripción de la base de datos y motor de búsqueda usado para la recopilación*

En la fase inicial de búsqueda, se localizaron 13,732 artículos sobre el tema en varias bases de datos académicas, reduciendo la muestra a 11,084 después de eliminar duplicados. Los tres autores dividieron los artículos en dos grupos para su gestión eficiente, descartando preliminarmente 11,024 por no cumplir los criterios de inclusión. Esto dejó 60 artículos para una revisión más detallada, de los cuales se seleccionaron 18 que cumplían con los criterios. Estos 18 artículos se sometieron a un instrumento de recolección de datos específico, lo que resultó en la inclusión de 6 documentos relevantes (Ver tabla 1 y Figura 3).

### 9.1 Síntesis cuantitativa y cualitativa

En cuanto a los años de publicación se evidencia que 1/6 fue publicado en 1987, 1/6 en 1985, 1/6 en 1989, 1/6 en 1966, 1/6 en 2011, 1/6 en 1973 (Ver tabla 2).

**Tabla 2** *Años de publicación de los estudios identificados.*

<b>Año de Publicación</b>	<b>N</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>1987</b>	1	16.6%
<b>1985</b>	1	16.6%
<b>1989</b>	1	16.6%
<b>1966</b>		16.6%
<b>2011</b>	1	16.6%
<b>1973</b>	1	16.6%

*Nota: descripción de la relación de años de publicación de los artículos*

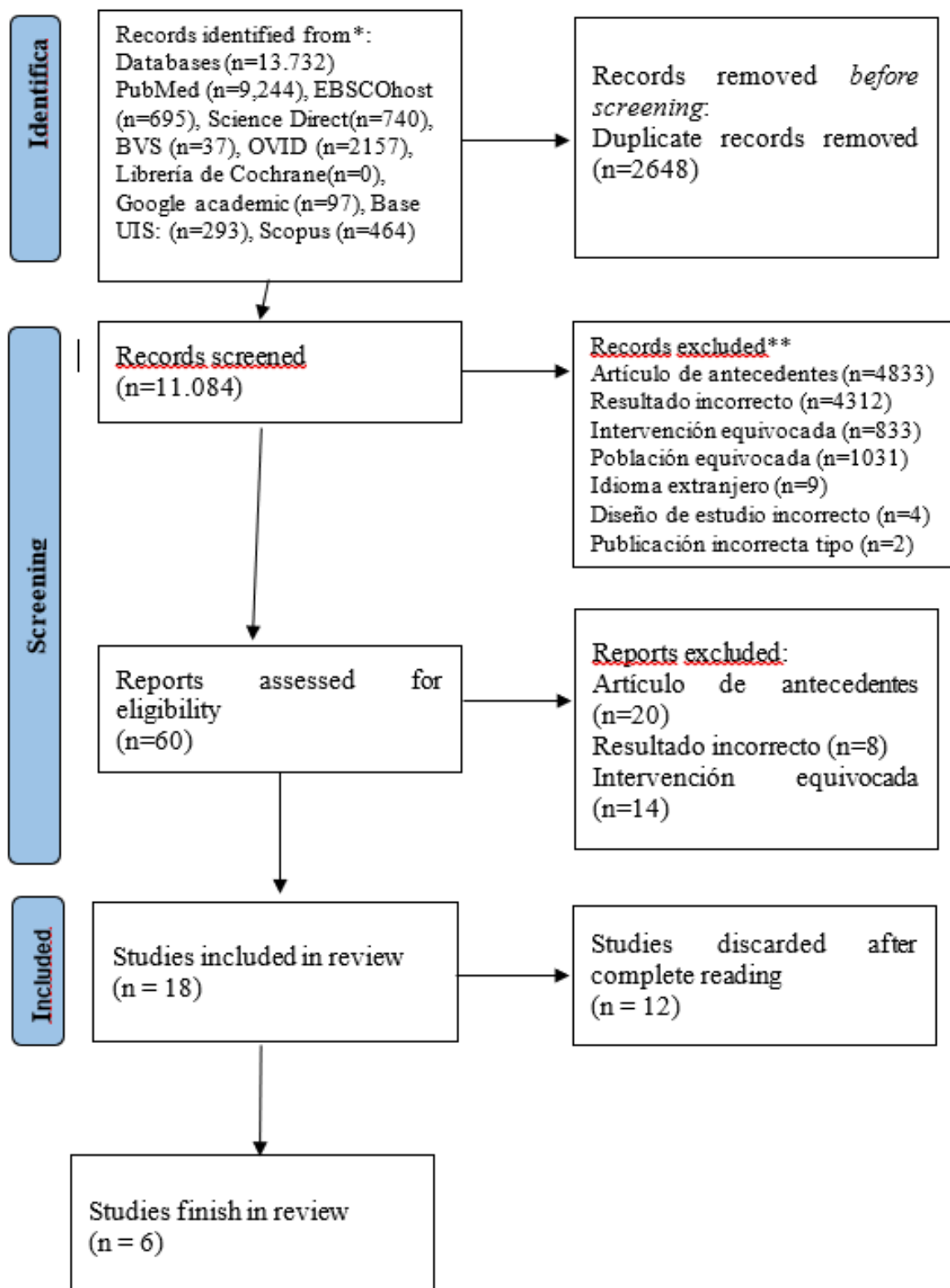
En cuanto a la aleación utilizada el país de publicación 4/6 fueron publicados en estados unidos, 1/6 en Australia, 1/6 en Brasil. (Ver Tabla 3.)

**Tabla 3.** *País en donde fueron publicados los artículos*

<b>País de Publicación</b>	<b>n</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Estados unidos</b>	4	66.6%
<b>Australia</b>	1	16.6%
<b>Brasil</b>	1	16.6%

*Nota: descripción de los países de publicación de los artículos*

**Figura 15.** *Selección de artículos (Flujograma PRIMAS).*



## **9.2 Efecto Bauschinger en ortodoncia**

El efecto Bauschinger en ortodoncia se abordó en dos de los 6 artículos revisados (ver Tabla 3), los dos con una metodología experimental. Uno de estos estudios exploró el efecto Bauschinger en alambres de acero de 0.016 pulgadas de diámetro en diferentes extensiones, mientras que el otro realizó un estudio comparativo entre alambres de NiTi de 0.016 y acero inoxidable de 0.016 (Burstone et al., 1985; Gullota. A, 1987).

### ***9.2.1 Efecto Bauschinger en alambres de acero***

En 1987, Antonino Gullota y su equipo detectaron un fuerte efecto Bauschinger en alambres ortodóncicos de acero inoxidable, especialmente tras someterlos a deformaciones previas como las del ensayo de envoltura y pruebas de tracción. Estos hallazgos indicaron cambios en el comportamiento de deformación de los alambres, lo que podría afectar su capacidad para mantener una fuerza constante y predecible durante el tratamiento ortodóncico. Se observaron alteraciones significativas en las propiedades mecánicas de los alambres tras ciclos repetidos de carga y descarga, lo que sugiere una modificación en la estructura cristalina del material y una posible disminución en su capacidad elástica. Este efecto se acentuó al aumentar el nivel de deformación previa, como al envolver los alambres alrededor de mandriles de diferentes diámetros (Gullota. A, 1987).

### ***9.2.2 Efecto Bauschinger en alambres de NiTi***

En 1985, Charles J. Burstone y su equipo, examinaron las propiedades mecánicas del alambre chino de NiTi en relación con su aplicación en ortodoncia, contrastándolas con las de los alambres de acero inoxidable y nitinol. Se llevaron a cabo pruebas de flexión en alambres de acero inoxidable de 0,016 pulgadas, nitinol y NiTi chino utilizando una configuración en voladizo. Se analizaron tres características del alambre: la recuperación elástica, la rigidez y el momento máximo,

resaltando la importancia clínica de la capacidad de recuperación y rango de acción del alambre, que puede variar según la aleación y la forma de activación. Se destacó que el alambre NiTi chino, debido a su aleación intrínseca, tiene una mayor capacidad de deformación sin fracturarse, siendo 4.4 veces más alta que la del acero, lo que permite la aplicación de fuerzas relativamente constantes sin reducir el momento o la fuerza (Burstone et al., 1985).

Hanyuda en 2006, estableció que un alambre ideal de ortodoncia no debería deformarse permanentemente dentro de su rango de trabajo esperado, por lo que era necesario determinar el rango elástico de cada alambre. En el caso del NiTi, no se evidenció una deformación permanente aparente, ya que la curva de descarga volvió al punto de origen, coincidiendo con la de carga, de el mismo modo, para el b-Ti, tampoco se observó una deformación permanente aparente, ya que el punto inicial de carga coincidió con el punto final de descarga. En contraste, en los alambres de acero, se observa que su punto de carga no coincide con el final de la descarga, lo que describe el efecto Bauschinger, un aspecto importante a considerar en su aplicación en ortodoncia (Hanyuda et al., 2006a).

### **9.3 Evaluación de la calidad metodológica**

A la selección final de 6 artículos se les aplicó la herramienta de evaluación crítica del CEBM, en donde se realizaron preguntas como: ¿El estudio abordaba una pregunta claramente definida? ¿El estudio utilizó métodos válidos para abordar esta pregunta? ¿Son importantes los resultados válidos de este estudio? ¿Son estos resultados válidos e importantes aplicables a mi paciente o población? Estas preguntas se utilizaron para establecer la calidad metodológica implementada en las investigaciones.

Como resultado, la publicación de Burstone et al., 1980 (Ver apéndice F) no presentaba una respuesta positiva a estos ítems, lo que indica que no cumplía con los criterios de calidad metodológica establecidos (Burstone & Goldberg, 1980a)

El artículo Hanyuda, et al, 2006 (ver apéndice E) aunque no consta de una pregunta clara, ni los métodos, los resultados del estudio son significativos y estos pueden ser aplicados a la población o paciente en cuestión (Hanyuda et al., 2006a)

M. Lorenzo, et al, 2009 (ver apéndice G) este artículo cumple con los criterios de calidad metodológica, el estudio consta de una pregunta bien definida, métodos válidos y los hallazgos son significativos, más sin embargo los resultados no son aplicables a la población o paciente en cuestión (M. Lorenzo et al., 2009)

Burstone et al. 1985. (ver apéndice H) cumple con los criterios de calidad lo cual sugiere que el estudio se enfoca en una pregunta bien definida, con métodos válidos, presenta hallazgos significativos y pertinentes, y que estos resultados son aplicables a la población (Burstone et al., 1985).

El artículo de Gullotta et al. 1987 (ver apéndice I) cumple con los criterios de calidad metodológica establecidos por el CEBM. Esto indica que el estudio aborda una pregunta claramente definida, utiliza métodos válidos, presenta resultados importantes y relevantes, y que dichos resultados son aplicables a la población o paciente en cuestión (Gullota. A, 1987).

**Tabla 4.** *Instrumento de recolección -Síntesis de Efecto Bauschinger encontrado en la revisión sistemática*

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
<b>Effects of stress relaxation in beta-titanium orthodontic loops</b>	Godeiro Fernandes, et al, 2011, Brasil(Caldas et al., 2011)	American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	Evaluar la caída de carga en el sistema de fuerzas de anclas en T de beta titanio pre-activados por curvaturas concentradas a lo largo del tiempo.	Ortodoncia	Experimental	Beta Titanio	Se usaron 90 anclas de beta titanio pre-activados, las cuales se dividieron en 9 grupos, grupo 1 activado inmediatamente, y los otros 8 grupos se probaron después de 24, 48 y 72 horas, y 1, 2, 4, 8 y 12 semanas.		Las anclas en T pre-activadas por curvaturas concentradas sufrieron una deformación progresiva con el tiempo. Este efecto fue crítico en las primeras 24 horas en (1) la reducción del momento, (2) la disminución en la tasa de reducción del momento y (3) la disminución en la superposición de la extensión vertical de aproximadamente 1 mm, causando una caída horizontal. Reducción de fuerza en una

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodonci a, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
<b>The bauschinger effect in stainless orthodontic wire</b>	Gullotta Antonino et al, 1987, Australia(Gullota. A, 1987).	Australian Orthodontic Journal	El objetivo de esta investigación era evaluar el efecto de un cambio en la dirección de la carga en las propiedades de los cables de ortodoncia	Ortodonci a	Experimental	Acero	En esta investigación se utilizaron alambres redondos de acero inoxidable wilcockt de 0,40 mm (0,016"), suministrados en forma de carrete. Varios grados de alambres de acero inoxidable		activación dada.  Los resultados indicaron que se produjo un efecto Bauschinger significativo que resultó en una reducción del potencial elástico del alambre. Por lo tanto, en la situación clínica, el ortodoncista puede hacer el mejor uso de las propiedades elásticas de un alambre y lograr el máximo desplazamiento de un diente activando o desviando un alambre en la misma dirección que la curvatura

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
<b>A mechanism of strain hardening and Bauschinger effect: shear-history-dependent microstructure of elastoplastic suspensions.</b>	Deboeuf, Stéphanie et al, 2022(Deboeuf et al., n.d.)	HAL open science-Soft Matter	Investigar el posible papel de la microestructura en las propiedades mecánicas de los materiales elastoplásticos y observar un mecanismo de endurecimiento por deformación, se estudiaron sus propiedades mecánicas en el marco de la elasticidad, la plasticidad y el endurecimiento por tensión y estudiaron su respuesta a la reversión del cizallamiento para investigar el efecto Bauschinger y la dependencia de las propiedades microestructurales y	Metalurgia	Revisión bibliográfica	Polímeros	Endurecimiento por deformación y efecto Bauschinger.	El estudio se limita a la recopilación de datos referentes al efecto Bauschinger y a el endurecimiento por deformación .	Es probable que la rugosidad y los contactos entre partículas desempeñen un papel importante, ya que la sustitución de partículas duras por burbujas no deformables suprime el endurecimiento por deformación y modifica la microestructura de la suspensión. Más allá de las suspensiones, nuestro estudio proporciona una nueva visión sobre la comprensión y el control del endurecimiento por

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
			macroscópicas del historial de la carga.						deformación en materiales compuestos.
<b>Torsional prestrain and the bauschinger effect in steel</b>	Watson, J.D.; et al, 1973, Australia(Watson & Brown, 1973)	Scripta Metalúrgica	El presente trabajo describe observaciones similares hechas en especímenes de un acero de grado de refuerzo comercial (0,18 % C - 0,87 % Mn) y conduce a una interpretación diferente del comportamiento observado en términos del efecto de Bauschinger.	Metalurgia	Revisión Bibliográfica	Acero	Se someten las muestras a una torsión unidireccional. Después, las muestras son refrigeradas inmediatamente para evitar el envejecimiento de la cepa para posteriormente probar su tensión usando una maquina instron de 250kn operada con tensión y constante control de velocidad. Se monitorea utilizando un extensometro de clip instron y fotografías del		Una explicación más razonable del comportamiento observado parece ser que, cuando el efecto Bauschinger es grande, su eliminación o reducción por esfuerzo conduce a un rápido aumento de la tensión de flujo y una tasa de endurecimiento del trabajo aparente muy alta.

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodonci a, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
							desarrollo del cuello.		
<b>Intrinsic Bauschinger effect and recoverable plasticity in pentatwined silver nanowires tested in tension.</b>	Bernal, Rodrigo A et al, 2015, Estados Unidos (Bernal et al., 2015)	Nano Lett	Estudiar el comportamiento de nano cables de plata más allá del límite plástico en ciclos de tracción repetidos de carga y descarga	Metalurgia	Experimental	Plata	El diámetro de los nano cables varía aproximadamente de 30 a 120 nm con longitudes de varias micras. Los nano cables constan de cinco dominios monocristalinos, todos alineados en la dirección, direcciones y se cruzan en límites gemelos		Tanto el experimento como los resultados computacionales revelan un fuerte efecto intrínseco de Bauschinger, caracterizado por un flujo plástico inverso durante la descarga, incluso cuando el material permanece bajo.
<b>Orowan's explanation of the Bauschinger effect</b>	Brown, L.M. 1977, Estados Unidos(Brown, 1977)	Scripta Metalúrgica	El propósito de esta breve nota es aclarar y ampliar nuestra comprensión del efecto Bauschinger a la luz de los trabajos recientes.	Metalurgia					La reducción del límite elástico en la dirección inversa después de una deformación plástica inicial se debe a que las

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodonci a, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
<b>Analysis of the bauschinger effect</b>	P. S. BATE et al, 1986, Great Britain(Bate & Wilson, 1986)	Acta Metalúrgic a	Se revisan las teorías del continuo y microestructura	Metalurgia	Experiment al	Acero con bajo y alto contenido		No tiene información acerca del efecto	dislocaciones, que crean obstáculos durante la deformación inicial, facilitan el movimiento de nuevas dislocaciones cuando la carga se invierte. Esta teoría destaca la importancia de la microestructur a y el comportamien to de las dislocaciones en la comprensión de la plasticidad y el endurecimient o de los materiales metálicos El efecto Bauschinger representa un fenómeno

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
			El del efecto Bauschinger en relación con la comprensión actual del papel de las tensiones internas en el endurecimiento por trabajo.			de carbono		Bauschinger aceros en ortodoncia	relevante que incide en las propiedades mecánicas de los materiales, especialmente en campos como la construcción y la manufactura de componentes estructurales. Su presencia influye directamente en la resistencia y durabilidad de estos materiales. Los resultados subrayan la necesidad de tener en cuenta este efecto al diseñar y desarrollar componentes, asegurando así su rendimiento

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
<b>A review of certain aspects of the Bauschinger effect in metals</b>	R. SOWERBY et al, 1979, Netherlands(Sowerby et al., 1979)	Ciencia e ingeniería de materiales	Se revisan ciertos aspectos del efecto Bauschinger (BE) en metales (en particular sistemas bifásicos	Metalurgia	Revisión Bibliográfica	Aleaciones de aluminio	Análisis de los resultados de pruebas en ciertas aleaciones de aluminio endurecidas por precipitación presentado datos de pruebas de flujo directo e inverso en una serie de pruebas de flujo directo e inverso	No tiene información acerca de el efecto Bauschinger en aceros en ortodoncia	Se discuten las implicaciones del BE en los procesos de fabricación de placas que involucran ciclos de deformación inversos, como algunos procesos de fabricación de tuberías.
<b>The Bauschinger Effect in High Strength Steels</b>	R.V.MILLIGAN et al, 1966, Arsenal(Milligan et al., 1966)	Journal of Fluids Engineering	El objetivo de este trabajo fue evaluar cuantitativamente el efecto Bauschinger en un acero modificado 4330 en función del nivel de resistencia y estructura derivado de variaciones en	Metalurgia	Experimental	Acero modificado 4330	Se estudió material con estructuras martensíticas, perlíticas y bainíticas utilizando una muestra uniaxial de tensión-compresión	No habla del efecto Bauschinger en aceros de ortodoncia, pero maneja terminología e información relevante del efecto Bauschinger en metales de alta	El efecto Bauschinger aumenta la tensión permanente hasta aproximadamente un 2 por ciento y posteriormente permanece esencialmente constante.

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
			el tratamiento térmico.					resistencia con diferentes propiedades	
<b>Friction in orthodontics</b>	Prashant, P. Et al., 2015, India(P. S. Prashant, 2015)	Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences	Revisa los diversos componentes involucrados en resistencia al deslizamiento y los factores que afectan la fricción	Ortodoncia	Revisión Bibliográfica	Ninguna	Se revisan las variables que afectan la fricción entre los componentes del aparato fijo, que incluyen el bracket, el arco, el mecanismo de ligadura y factores biológicos.	El estudio se limita a la búsqueda sistemática de la fricción, la cual no es referente con el proyecto de investigación	Las metodologías actuales empleadas para estudiar los efectos de la fricción en la biomecánica de la ortodoncia son inadecuadas y simulan mal las condiciones bucales. Sólo metodologías mejoradas pueden arrojar más luz sobre este tema.
<b>Bauschinger Effect of Mn18Cr18N Austenitic Stainless Steel</b>	ZHAO Xiaodong, et al, 2020, China(Li et al., 2020a)	Revista de la Universidad Tecnológica de Wuhan-Ma	Estudio experimental del efecto Bauschinger en acero inoxidable austenítico Mn18Cr18N	Metalurgia	Experimental	Acero inoxidable austenítico Mn18Cr18N	La curva con respecto a diferentes ciclos y las amplitudes de deformación cíclica se evaluaron de	No presenta información del efecto Bauschinger en aceros de ortodoncia, pero maneja terminología	En el acero Mn18Cr18N existe efecto Bauschinger en carga cíclica. Una pretensión más grande

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
							manera cuantitativa	a e información relevante del efecto Bauschinger en acero inoxidable austenítico Mn18Cr18 N	produce más efecto Bauschinger
<b>Bauschinger Effect in Alternating Deformation</b>	RR Adigamov, et al, 2022, Rusia(Izvestiya Ferrous Metallurgy, 2022)	Journal de metales en translacion	Revisión analítica de la literatura sobre el efecto Bauschinger en el caso de deformación alterna del metal	Metalurgia	Revisión Bibliográfica	Metales	Se estudian detalladamente los factores que inciden cualitativa y cuantitativamente en la magnitud del efecto Bauschinger: el grado de deformación previa; composición, estructura y propiedades del material; condiciones de deformación; fenómeno de envejecimiento por deformación	No presenta información del efecto Bauschinger en aceros de ortodoncia, pero maneja terminología e información relevante	El efecto Bauschinger juega un papel tanto positivo como negativo en la producción de metales, en particular en los tubos de petróleo y gas. Por un lado, el efecto Bauschinger tiene un efecto negativo, reduciendo el nivel de propiedades mecánicas del producto final por debajo del requerido

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
							dinámica; y temperatura.		
<b>Study on Bauschinger effect in X80 steel under axial loading and bending</b>	Ling Wang, et al, 2011, China(L. Wang & Jia, 2011)	Investigación de materiales avanzados	Estudio experimental del efecto Bauschinger en acero x80, mediante cargas de tensión axial y compresión	Metalurgia	Experimental	Acero X80	El efecto Bauschinger (BE) del acero para tuberías X80 se probó mediante cargas de tensión axial y compresión.	No presente información del efecto Bauschinger en aceros de ortodoncia, pero maneja terminología e información relevante del efecto Bauschinger en acero x80	Cuando se aplica una carga de tracción axial, la respuesta tensión-deformación muestra que el acero X80 tiene el carácter de elasticidad plástica perfecta dentro del rango de deformación

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
									del 2,5% y las características de endurecimiento por trabajo exceden la deformación del 2,5%
<b>Bauschinger effect corresponds to experimental tests</b>	Lemoine, X. Et al, 2008, Francia(Symposium MS04: Anisotropy and formability, 2008)	Revista internacional de formación de materiales	Revisión de literatura de Bauschinger	Metalurgia	Revisión Bibliográfica	Ninguna	Este trabajo busca responder estas dos preguntas: ¿Son equivalentes los ensayos experimentales los cuales se realizan para determinar el efecto Bauschinger? ¿Cuál es el impacto de estas diferentes pruebas en la identificación de parámetros de la ley de conducta?	No presenta información del efecto Bauschinger en aceros de ortodoncia, pero maneja terminología e información relevante	Se proporcionan dos test para evaluar el efecto Bauschinger en parámetros de cuantificación
<b>Bauschinger effect in structural aluminum alloys.</b>	Grabowski, J, 1983, Francia(Grabowski, 1983)	Rozprawy Inzynierskie	El objetivo principal de este artículo es evaluar la magnitud del	Experimental	Aleaciones estructurales obtenidas directamente de fábrica,	Aluminio	Todas las pruebas se llevaron a cabo en tubos circulares con	El tamaño de la muestra, el tipo de aleación	Los resultados de las pruebas muestran las diferencias entre dos de

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
efecto Bauschinger en aleaciones estructurales de aluminio					sin ningún tratamiento térmico destinado a aumentar la homogeneidad, Todas las pruebas se llevaron a cabo en tubos circulares con un diámetro exterior de 20 mm y un espesor de pared de 2 mm. Para cada aleación, las muestras se cortaron de cinco barras de 4 m de largo elegidas al azar. Cada serie constaba de 5 probetas de 300 mm de longitud, Las		un diámetro exterior de 20 mm y un espesor de pared de 2 mm. Para cada aleación, las muestras se cortaron de cinco barras de 4 m de largo elegidas al azar. Cada serie constaba de 5 probetas de 300 mm de longitud, Las probetas de cada serie se sobre tensaron inicialmente por separado en tensión a los valores asumidos, el porcentaje máximo de sobreesfuerzo por tracción que se pudo obtener sin fallar fue del 4%. La deformación se midió durante el sobreesfuerzo con un		los enfoques más comunes para definir la magnitud del efecto Bauschinger. Ambos enfoques son importantes desde el punto de vista práctico, pero en opinión del autor el factor de efecto de Bauschinger, Las diferencias esenciales pueden ocurrir no solo en varios tipos de material, sino también dentro de la misma aleación

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
					probetas de cada serie se sobre tensaron inicialmente por separado en tensión a los valores asumidos		extensómetro y también después de la carga. La distribución permanente de la cepa a lo largo de la muestra. Se obtuvo midiendo las elongaciones locales entre la línea de un centímetro de trazado. Se realizaron ensayos de compresión en las probetas de tubo de 100 mm de altura cortadas a partir de probetas de sobreesfuerzo. Tales longitudes de la probeta permitieron obtener esfuerzos homogéneos en su parte media y además evitar pandeos en el		

Título	Autores	Revista	Objetivo	Tipo de área de estudio del efecto (Ortodoncia, metalurgia, etc)	Diseño de estudio	Aleaciones	Metodología empleada (describir en detalle)	Limitaciones o debilidades del estudio	Conclusiones del estudio
<b>Bauschinger Effect and Back Stress in a Dual Phase Steel</b>	Ma, M.T. 1989, China (Weiss et al., 2015)	Iron and Steel Institute of Japan journal	Evaluar el efecto Bauschinger en acero biofisico	Experimental		Acero bifásico	rango de cargas aplicadas., Los experimentos se planificaron para determinar la influencia de la sobre deformación inicial en tensión en las relaciones tensión-deformación en compresión. El cambio del módulo de elasticidad y de la intensidad.		Se ha observado un gran reblandecimiento transitorio y una cantidad considerable de reblandecimiento permanente en el presente acero de doble fase

*Nota: análisis detallado de los artículos, en relación de titula, autores, revistas, objetivos, tipos de estudios, diseño de estudio, aleaciones, metodología , limitaciones/debilidades, conclusiones*

## 10. Discusión

La investigación sobre el efecto Bauschinger específicamente en el contexto de la ortodoncia es limitada y con menor documentación en comparación con otros campos como la ingeniería y la ciencia de materiales. Sin embargo, se pueden hacer algunas inferencias basadas en la comprensión general del efecto Bauschinger y su relevancia para los alambres utilizados en tratamientos ortodónticos (Raymond C. Thurow, 1982).

Relacionando estudios realizados en áreas como ingeniería y metalurgia con la ortodoncia, se ha investigado el efecto Bauschinger en aleaciones como el cobre. Esta aleación muestra un comportamiento donde, después de ser sometida a deformaciones plásticas y luego liberada de la tensión, su capacidad para resistir tensiones en la dirección opuesta puede disminuir considerablemente (Deboeuf et al., n.d.; Gravina et al., 2014a).

Cuando se aplica esta información a los alambres utilizados en ortodoncia que contienen cobre, como los alambres de CuNiti, se observa que estos exhiben propiedades superelásticas debido a su capacidad para cambiar entre las fases austenítica y martensítica en respuesta a cambios de temperatura y tensión. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el material puede mostrar un límite elástico menor en la dirección inversa debido a que el efecto Bauschinger se transforma nuevamente en fase austenítica al liberar la carga, recuperando así su forma original. Estos alambres, desarrollados por Rohit Sachdeva en 1990, cuentan cómo se mencionó anteriormente, con propiedades de superelasticidad y memoria de forma, a su vez, con una sensibilidad a 4 temperaturas específicas, lo que proporciona comportamientos clínicos diferentes (Gravina et al., 2014b).

Es por esto, que el calor como un aumento en los valores de temperatura a los cuales está expuesto un material, puede generar impactos en sus propiedades intrínsecas y extrínsecas no solo de estos alambres de cobre/níquel/titánio. Cuando hablamos de calor, es fundamental discernir: momento de exposición (puede ser durante su fabricación o en el momento de uso), magnitud de

exposición (el valor en grados al cual se somete el material, determinante para el impacto final). En las aleaciones hierro-carbono, como los aceros, hablamos de materiales que en términos de ortodoncia se comportan en fase principalmente austenítica, sin desconocer que como parte de su composición, pueden tener numerosas variaciones. Para comprender lo anterior, hay que destacar que los aceros en Ortodoncia comúnmente están compuestos por un 71% de hierro, 18% de cromo, 8% de níquel que le proporciona brillo y maleabilidad, y menos del 0.2% de carbono, que le proporciona dureza. Este bajo porcentaje de carbono, es determinante para el comportamiento térmico del material y para establecer su fase principal, que en el caso de ortodoncia como se ha mencionado anteriormente, se trata en gran medida de una fase austenítica (Kapila & Sachdeva, 1989).

El impacto del calor en términos de tensiones, se ha demostrado en diversos estudios, donde resaltan un valor denominado: temperatura de recristalización, concepto que hace referencia al valor térmico por encima del cual, una aleación tendrá un cambio sustancial en términos de distribución de tensiones y por tanto, en su comportamiento biomecánico y efecto Bauschinger. De hecho, se ha encontrado que al superar esta temperatura (que tradicionalmente se encuentra en un rango de 400 a 700°C para los aceros), el impacto del efecto Bauschinger se puede reducir, y este comportamiento ha sido utilizado para lograr liberación de tensiones. Lo anterior, como una manera de eliminar tensiones derivadas del proceso de fabricación, que a lo largo de este documento se han mencionado como causales del efecto Bauschinger y de la reducción en el límite elástico del material debido a su historial de deformaciones. En el caso del acero, como este valor de temperatura se ha encontrado por encima de los 400°C, la mayoría de estudios disponibles en la literatura se basan en aceros con elevado contenido de carbono, aquellos denominados fundiciones por superar porcentaje del 2.11% en su composición, y por tanto, limitados para su uso en ortodoncia (Aran & Demirkol, 1981; Raymond C. Thurow, 1982).

Finalmente, se encuentran las aleaciones de titanio, compuestas principalmente por un 52% de Níquel, 45% de Titánio y 3% de Cobalto. Estas aleaciones hacen parte de una gran categoría denominada aleaciones super-flexibles, y se dividen en: martensítica estabilizada (Nitinol clásico), martensítica activa (Ni-Ti termoelástico con memoria de forma) y austenítica activa (Ni-Ti super-elástico con propiedad de superelasticidad). De estas aleaciones, la categoría con mayores cambios en torno a cambios térmicos es la martensítica activa, una aleación que en temperaturas elevadas demuestra alta rigidez y expresión de fuerzas superiores, mientras en temperaturas bajas demuestra elasticidad y niveles de fuerza inferiores. Para estos cambios térmicos, así como los mencionados por el acero, también es necesario conocer un término llamado: rango de temperatura de transición, valor que permite el desarrollo de las variaciones en rigidez, elasticidad y expresión de fuerzas mencionadas. Las aleaciones de Ni-Ti con comportamiento térmico, son por excelencia las martensíticas activas, y son materiales que en su estado natural se encuentran en una fase martensítica de bajas temperaturas. En la medida en que existe un incremento en la temperatura, estas aleaciones empiezan un proceso de cambio de fase martensítica a austenítica, donde es necesario superar la temperatura de transición mencionada y llegando a un pico máximo austenítico de alta rigidez y altas temperaturas durante la carga. Posterior a ello, mientras el material presenta una descarga que es aquella etapa de desactivación donde se entregan esfuerzos a las piezas dentales, el material vuelve a presentar cambio de fase de austenítica rígida con altas temperaturas, culminando de la forma inicial como martensítica activa a bajas temperaturas y baja rigidez (Kapila & Sachdeva, 1989).

Deboeuf et al. (2022) investigaron el efecto Bauschinger y el endurecimiento por deformación en suspensiones elasto-plásticas, centrándose en cómo la historia de corte afecta su microestructura y comportamiento mecánico. Identificaron que la orientación y distribución de las

partículas varían con la historia de deformación, influyendo en su capacidad de deformación plástica y resistencia a cargas futuras (Deboeuf et al., n.d.).

Zhao y colaboradores (2020) llevaron a cabo un estudio en China sobre el efecto Bauschinger en el acero inoxidable, empleando pruebas de tracción y análisis microestructurales. Encontraron que después de ciclos repetidos de carga y descarga, hubo una disminución en la resistencia a la tracción y un aumento en la deformación permanente, confirmando la presencia del efecto Bauschinger en el material (Li et al., 2020b). En el contexto ortodóntico, especialmente en aplicaciones como las ansas para el cierre de espacios, donde el acero está sujeto a estos ciclos, el efecto Bauschinger adquiere relevancia significativa. Durante la primera carga, el acero experimenta deformación plástica en una dirección específica, creando una configuración única de dislocaciones. En la carga inversa, al aplicar fuerza en dirección opuesta, el límite elástico en esta nueva dirección es menor debido al efecto Bauschinger. Esto significa que el acero puede deformarse más fácilmente en la dirección inversa. Por lo tanto, es crucial activar un ansa en el mismo sentido del doblado inicial para asegurar un comportamiento efectivo. Además, el uso de helicoides puede optimizar esta activación en la dirección deseada (Li et al., 2020b).

El efecto Bauschinger hace parte de los conceptos necesarios para la elección y fabricación de los diferentes aditamentos que se utilizan en ortodoncia como las ansas mencionadas a lo largo del documento, y elementos adicionales como cantilevers o brazos de activación. Durante la fabricación de los mismos, es fundamental contemplar los esfuerzos de activación y desactivación, la condición pasiva y activa del aditamento, y de esta forma, entender que en la medida en que se activen en la misma dirección en la que fueron moldeados o fabricados, su respuesta biomecánica en términos de límite y capacidad elástica, será superior (Gurgel et al., 2011).

Es importante considerar en primera medida la selección del material, con ello, se ha descrito previamente que cada aleación tiene sus ventajas biomecánicas y clínicas, y a su vez, su relación

con el efecto Bauschinger. En segunda medida, la sección transversal, R. Thurow explica cómo los alambres redondos presentan zonas de estrés crítico cuando se someten por ejemplo ansas elaboradas por compresión a esfuerzos de extensión. Sin embargo, resaltan que estos efectos son más delicados en una sección transversal rectangular, donde el alambre no solo va a experimentar zonas críticas por flexión, y se añade a esto, la posibilidad de experimentar zonas críticas por torsión. Esto explica porqué, en secciones transversales rectangulares, los alambres pueden experimentar en gran medida estos cambios propios de efecto Bauschinger y sus impactos clínicos, porque las activaciones en boca pueden inducir flexiones y a su vez, torsiones en las zonas consideradas críticas, haciendo aún más riguroso el diseño de mecánicas y aditamentos, la ubicación de helicoides y demás, para lograr activaciones en el mismo sentido del historial de dislocaciones, o en el mismo sentido de moldeabilidad y fabricación inicial. (Kusy & Whitley, 1997; Raymond C. Thurow, 1982)

Por otro lado, los cambios en la tasa de cambio de la fuerza indican que, dentro del rango elástico, la relación entre la tensión y la deformación es menor, lo que significa que la fuerza aplicada permanece más constante a medida que se desactiva el alambre. Esto podría tener implicaciones significativas en la predictibilidad del movimiento dental durante el tratamiento ortodóncico. Una fuerza más constante podría traducirse en un control más preciso del movimiento de los dientes y una mayor estabilidad del tratamiento (Burstone & Goldberg, 1980b).

Finalmente, es posible resaltar que la planificación biomecánica de los tratamientos es un paso riguroso, que inicialmente hace parte de una fase diagnóstica, pero posterior a ello, se convierte en una constante planificación y toma de decisiones que tendrán un efecto relevante en la efectividad final de un tratamiento de ortodoncia. Comprender los principios básicos de metalurgia y ciencia de materiales mencionados durante este documento, permite una aplicación exitosa de conceptos, un manejo integral de los casos con alta rigurosidad biomecánica, y por tanto, una respuesta favorable de los esfuerzos aplicados a las piezas dentales (Hanyuda et al., 2006b) .

### **11.Fortalezas**

Dentro de las principales fortalezas del estudio están que esta es una de las primeras revisiones sistemáticas rápidas realizadas sobre las temáticas del efecto en ortodoncias, así como la exhaustividad de las fuentes empleadas. Lo anterior debido a que se realizó una búsqueda de 13.732 artículos, los cuales incluyeron no solo revista de publicaciones científicas y de ortodoncia, también se incluyeron revistas de metalurgia, ingeniería, con un rango de publicación de más de 40 años, también se incluyeron todos los países de publicación, idiomas, las bases de datos.

### **12.Debilidades**

La literatura disponible en el campo de biomateriales en ortodoncia desde las ciencias básicas es bastante limitada y sólo un artículo en 1987 realizó una serie de pruebas experimentales buscando corroborar los comportamientos del efecto sobre alambres de ortodoncia, descritos en la teoría.

### **13. Recomendaciones**

Aunque hay una base teórica que sugiere la relevancia del efecto Bauschinger en ortodoncia, hay una necesidad de más estudios experimentales específicos que evalúen cómo este fenómeno afecta directamente la eficacia de los tratamientos ortodónticos y la durabilidad de los alambres. Investigaciones adicionales podrían enfocarse en experimentos controlados para medir la influencia del efecto Bauschinger en diferentes tipos de alambres y condiciones de carga típicas en ortodoncia.

### **14.Conclusiones**

Aunque la literatura específica sobre el efecto Bauschinger en ortodoncia es limitada, sus implicaciones en la selección, diseño y rendimiento de los alambres ortodónticos son significativas.

Es fundamental complementar la evidencia limitada que existe en el área de ortodoncia, con el soporte científico que promueven áreas de ingeniería, metalurgia y ciencias de materiales. De esta forma, se pueden extrapolar conceptos que gradualmente serán el fundamento para nuevas investigaciones en ortodoncia, y que, a la fecha, se comportan como un referente para la planificación biomecánica de las diferentes estrategias de movimiento dental.

Comprender el efecto Bauschinger, permite anticipar la efectividad de diversas mecánicas, elegir acertadamente una aleación, sección transversal y conformación de los diferentes aditamentos utilizados durante un tratamiento, y a su vez, permite integrar las ciencias básicas como evidencia en la toma de decisiones clínicas.

La activación ideal de los resortes en ortodoncia (ansas y cantilevers) es por compresión. De esta forma se logra el mayor límite elástico, con adecuada resistencia a una deformación permanente del material.

En el caso de activaciones por extensión, se debe tener en cuenta la aplicación de esfuerzos o cargas inferiores, para evitar la deformación permanente del material.

El aumento en el rango de trabajo puede modificar positivamente la respuesta del resorte, permitiendo activaciones mayores, con menor deformación. Para esto, aumentamos la dimensión del aditamento o añadimos helicoides.

El historial de deformaciones previas en una misma dirección fortalece el material y en dirección opuesta lo debilita y el calor puede disminuir el efecto Bauschinger del material, borrando su historial de deformación

### Referencias

- Alvarez Moreno E, Alzate Valencia E, Giraldo Diaz C, Suraez Zuñiga A, Uribe Trespalacios M, Uribe Restrepo G, & Sánchez G. (2015). *Cierre de espacios en ortodoncia en casos de extracción. Artículo de revisión.*
- Andrii Gennadiovych Kostryzhev. (2009). *Efecto bauschinger aceros microaleados para tuberías en Nb Y V* [Thesis ]. Universidad de Birmingham Inglaterra.
- Aran, A., & Demirkol, M. (1981). Effect of Heat Treatment on the Bauschinger Effect for a Medium Carbon Steel. In *Materials Science and Engineering* (Vol. 47).
- Aristizábal, J. F. (2010). *Metales y Alambres en Ortodoncia.*  
<https://www.researchgate.net/publication/283284315>
- Bate, P. S., & Wilson, D. V. (1986). Analysis Of The Bauschiger Effect. *Acta Metallurgica*, 34(6), 97–1105.
- Bernal, R. A., Aghaei, A., Lee, S., Ryu, S., Sohn, K., Huang, J., Cai, W., & Espinosa, H. (2015). Intrinsic bauschinger effect and recoverable plasticity in pentatwinned silver nanowires tested in tension. *Nano Letters*, 15(1), 139–146. <https://doi.org/10.1021/nl503237t>
- Brown, L. M. (1977). Orowan's explanation of the Bauschinger effect. *Scripta Metallurgica*, 11(2), 127–131. [https://doi.org/10.1016/0036-9748\(77\)90291-5](https://doi.org/10.1016/0036-9748(77)90291-5)
- Burstone, C. J., & Goldberg, A. J. (1980a). Beta titanium: A new orthodontic alloy. In *American Journal of ORTHODONTICS* (Vol. 77).

- Burstone, C. J., & Goldberg, A. J. (1980b). Beta titanium: A new orthodontic alloy. *American Journal of Orthodontics*, 77.
- Burstone, C. J., & Koenig, H. A. (1976). Optimizing anterior and canine retraction. *American Journal of Orthodontics*, 70(1), 1–19. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(76\)90257-8](https://doi.org/10.1016/0002-9416(76)90257-8)
- Burstone, C. J., Qin, B., & Morton, J. Y. (1985). Chinese NiTi wire—A new orthodontic alloy. *American Journal of Orthodontics*, 87(6), 445–452. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(85\)90083-1](https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90083-1)
- Caldas, S. G. F. R., Martins, R. P., Viecilli, R. F., Galvão, M. R., & Martins, L. P. (2011). Effects of stress relaxation in beta-titanium orthodontic loops. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140(2). <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.02.018>
- CharlesJ .Burstone, K. C. (2015a). *The Biomechanical Foundation of Clinical Orthodontics*.
- CharlesJ .Burstone, K. C. (2015b). *The Biomechanical Foundation of Clinical Orthodontics*.
- Daniele Cantarella, L. L. and G. S. (2013). *The dynforce archwire*.
- Deboeuf, S., Ducloué, L., Lenoir, N., Ovarlez, G., & Le Rond, J. (n.d.). A mechanism of strain hardening and Bauschinger effect: shear-history-dependent microstructure of elasto-plastic suspensions A mechanism of strain hard-ening and Bauschinger effect: shear-history-dependent microstructure of elasto-plastic suspensions A mechanism of strain hardening and Bauschinger effect: shear-history-dependent microstructure of elasto-plastic suspensions. *Soft Matter*, 2022(46). <https://doi.org/10.1039/D2SM00910Bi>
- Garritty, C., Gartlehner, G., Nussbaumer-Streit, B., King, V. J., Hamel, C., Kamel, C., Affengruber, L., & Stevens, A. (2021). Cochrane Rapid Reviews Methods Group offers evidence-informed guidance to conduct rapid reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, 130, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2020.10.007>

- Gennadiovych Kostryzhev A. (2009). *Efecto bauschinger aceros microaleados para tuberías en nb y v* [Thesis ]. Universidad de Birmingham Inglaterra.
- Giuliodori, M. J., Lujan, H. L., Briggs, W. S., Palani, G., & DiCarlo, S. E. (2009). Hooke's law: Applications of a recurring principle. *American Journal of Physiology - Advances in Physiology Education*, 33(4), 293–296. <https://doi.org/10.1152/advan.00045.2009>
- Grabowski, J. (1983). Bauschinger effect in structural aluminum alloys. *Rozprawy Inzynierskie*.
- Gravina, M. A., Canavarro, C., Elias, C. N., Chaves, M. das G. A. M., Brunharo, I. H. V. P., & Quintão, C. C. A. (2014a). Mechanical properties of NiTi and CuNiTi wires used in orthodontic treatment. Part 2: Microscopic surface appraisal and metallurgical characteristics. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 19(1), 69–76. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.1.069-076.oar>
- Gravina, M. A., Canavarro, C., Elias, C. N., Chaves, M. das G. A. M., Brunharo, I. H. V. P., & Quintão, C. C. A. (2014b). Mechanical properties of NiTi and CuNiTi wires used in orthodontic treatment. Part 2: Microscopic surface appraisal and metallurgical characteristics. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 19(1), 69–76. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.1.069-076.oar>
- Gullota. A. (n.d.). *The bauschinger effect in stainless steel orthodontic wires 1987*.
- Gullota. A. (1987). The bauschinger effect in stainless steel orthodontic wires. *Aust Orthod Journal*.
- Gurgel, J. A., R. M. Pinzan-Vercelino, C., & Powers, J. M. (2011). Mechanical properties of beta-titanium wires. *The Angle Orthodontist*, 81(3), 478–483. <https://doi.org/10.2319/070510-379.1>
- Hanyuda, A., Nagasaka, S., & Yoshida, T. (2006a). Long-term time effect on load-deflection characteristics of orthodontic wires. *Orthodontic Waves*, 65(4), 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.odw.2006.11.001>
- Hanyuda, A., Nagasaka, S., & Yoshida, T. (2006b). Long-term time effect on load-deflection characteristics of orthodontic wires. *Orthodontic Waves*, 65(4), 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.odw.2006.11.001>

Izvestiya Ferrous Metallurgy. (2022). *Bauschinger effect during alternating deformation*.

Kapila, S., & Sachdeva, R. (1989). Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 96(2), 100–109. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(89\)90251-5](https://doi.org/10.1016/0889-5406(89)90251-5)

Kojima, Y., Kawamura, J., & Fukui, H. (2012). Finite element analysis of the effect of force directions on tooth movement in extraction space closure with miniscrew sliding mechanics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142(4), 501–508. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.05.014>

Kusy, R. P. (1983). On the use of nomograms to determine the elastic property ratios of orthodontic arch wires. *American Journal of Orthodontics*, 83(5), 374–381. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(83\)90321-4](https://doi.org/10.1016/0002-9416(83)90321-4)

Kusy, R. P., & Whitley, J. Q. (1997). Friction between different wire-bracket configurations and materials. *Seminars in Orthodontics*, 3(3), 166–177. [https://doi.org/10.1016/S1073-8746\(97\)80067-9](https://doi.org/10.1016/S1073-8746(97)80067-9)

Li, F., Zhao, X., Zhang, H., He, W., Chen, H., & Guo, H. (2020a). Bauschinger Effect of Mn18Cr18N Austenitic Stainless Steel. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*, 35(2), 399–406. <https://doi.org/10.1007/s11595-020-2270-0>

Li, F., Zhao, X., Zhang, H., He, W., Chen, H., & Guo, H. (2020b). Bauschinger Effect of Mn18Cr18N Austenitic Stainless Steel. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*, 35(2), 399–406. <https://doi.org/10.1007/s11595-020-2270-0>

M. Lorenzo, B., González, J. C., Matos, L., Aguado, V., & Kharin, J. (2009). Analysis of the bauschinger effect. *Anales de Mecánica de La Fractura*, 1.

- Megi, M., Ohura, Y., & Karba, M. (1915). The super-elastic Japanese NiTi alloy wire for use in orthodontics Part III. Studies on the Japanese NiTi alloy coil springs. *American Journal Of Orthodontics And Dentofacial Orthopedics* , 94.
- Milligan, R. V., Koo, W. H., & Davidson, T. E. (1966). The Bauschinger Effect in a High-Strength Steel. *Journal of Basic Engineering*, 88(2), 480–488. <https://doi.org/10.1115/1.3645883>
- Moreno Moreno J., Covarrubias Güitrón M., & García López E. (2016). *Movimiento dentario ortodónico: factores modificantes y alteraciones Tisulares, revisión bibliográfica*. Revista Latinoamericana De Ortodoncia Y Odontopediatria.
- Nanda R. (1998). *Biomecanica en ortodoncia clinica* (Panamericana, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Panamericana.
- P. S. Prashant, H. N. and M. G. (2015). Friction in orthodontics. *Journal Pharm Bioallied*
- Proffit W. (2014). *Ortodoncia contemporánea, Teoría y práctica* (5th ed.).
- Qian, L., Todo, M., Morita, Y., Matsushita, Y., & Koyano, K. (2009). Deformation analysis of the periodontium considering the viscoelasticity of the periodontal ligament. *Dental Materials*, 25(10), 1285–1292. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.03.014>
- Quinn, R. S., & Ken Yoshikawa, D. (1985). A reassessment of force magnitude in orthodontics. *American Journal of Orthodontics*, 88(3), 252–260. [https://doi.org/10.1016/S0002-9416\(85\)90220-9](https://doi.org/10.1016/S0002-9416(85)90220-9)
- Raboud, D. W., Faulkner, M. G., Lipsett, A. W., & Haberstock, D. L. (1997). Three-dimensional effects in retraction appliance design. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 112(4), 378–392. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(97\)70046-5](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(97)70046-5)
- Raymond C. Thurow. (1982). *Edgewise Orthodontics* (4 Edition, Vol. 1). Mosby.

- Ribeiro, G. L. U., & Jacob, H. B. (2016). Understanding the basis of space closure in orthodontics for a more efficient orthodontic treatment. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 21(2), 115–125. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.21.2.115-125.sar>
- Salehi, H., & Arab, S. (2015). Effect of Loop Geometry on Horizontal Forces of Vertical Loops: A Finite Element Analysis. *Iranian Journal of Orthodontics*, 10(2). <https://doi.org/10.17795/ijo-4988>
- Smith, R. J., & Burstone, C. J. (1984). Mechanics of tooth movement. *American Journal of Orthodontics*, 85(4), 294–307. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(84\)90187-8](https://doi.org/10.1016/0002-9416(84)90187-8)
- Sowerby, R., Uko, D. K., & Tomita, Y. (1979). A review of certain aspects of the Bauschinger effect in metals. *Materials Science and Engineering*, 41(1), 43–58. [https://doi.org/10.1016/0025-5416\(79\)90043-0](https://doi.org/10.1016/0025-5416(79)90043-0)
- Symposium MS04: Anisotropy and formability. (2008). Bauschinger effect correspondence of experimental tests. *International Journal of Material Forming*, 1.
- Tapia-Benavente, L., Vergara-Merino, L., Garegnani, L. I., Ortiz-Muñoz, L., Hernández, C. L., & Vargas-Peirano, M. (2021). Rapid reviews: definitions and uses. *Medwave*, 21(1). <https://doi.org/10.5867/medwave.2021.01.8090>
- Uribe, G., & Uribe, O. (2019). *Ortodoncia teoria y clinica “Enfasis en biomecanica”* (Tercera edicion). Cooperacion para investigaciones biologicas.
- Uribe Restrepo G. (2010). *Fundamentos de odontología: Ortodoncia, teoría y clínica* (CIB( Cooperacion para investigacion Bilogica), Ed.; 2nd ed., Vol. 1).
- Verstrynge, A., Van Humbeeck, J., & Willems, G. (2006). In-vitro evaluation of the material characteristics of stainless steel and beta-titanium orthodontic wires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 130(4), 460–470. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.12.030>

- Wang, L., & Jia, P. R. (2011). Study on Bauschinger effect in X80 steel under axial loading and bending. *Advanced Materials Research*, 197–198, 1686–1689. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.197-198.1686>
- Wang, Y., Jian, F., Lai, W., Zhao, Z., Yang, Z., Liao, Z., Shi, Z., Wu, T., Millett, D. T., McIntyre, G. T., & Hickman, J. (2009). Initial arch wires for alignment of crooked teeth with fixed orthodontic braces. In Y. Wang (Ed.), *Cochrane Database of Systematic Reviews*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007859>
- Watson, J. D., & Brown, G. G. (1973). *Torsional prestrain and the bauschinger effect in steel* (Vol. 7). Pergamon Press, Inc.
- Weiss, M., Kupke, A., Manach, P. Y., Galdos, L., & Hodgson, P. D. (2015). On the Bauschinger effect in dual phase steel at high levels of strain. *Materials Science and Engineering: A*, 643, 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.07.037>
- Xiang, Y., & Vlassak, J. J. (2005). Bauschinger effect in thin metal films. *Scripta Materialia*, 53(2), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2005.03.048>

## Apéndices

### Apéndice A. Operacionalización de las variables

Variable	Tipo de variable	Definición conceptual	Definición operacional	Naturaleza	Escala de medición	Valor que asume
<b>Título del artículo</b>		Conjunto de palabras que describen su contenido	Títulos identificados en los artículos originales	Cualitativa	Nominal	Título del artículo registrado en la base de datos de donde fue extraído
<b>Año de publicaciones</b>		Fecha en la que se publica el artículo	Año de acuerdo con lo registrado en el artículo completo, en el que fue realizada la publicación impresa o de publicación en la web	Cualitativa	Ordinal	Valores enteros
<b>Autor</b>		Persona a cargo de una publicación escrita.	Autores reportados en el artículo	Cualitativa	Nominal	Apellido e inicial de cada autor
<b>Revista</b>		Lugar geográfico donde se realizó el estudio	País correspondiente a la institución donde se realizó el estudio del cual proceden las muestras analizadas.	Cualitativa	Nominal	País donde se registró la investigación reportada por el artículo
<b>Idioma</b>		Lengua o habla que utiliza una comunidad para comunicarse oralmente o por escrito.	Lengua correspondiente al país donde se realizó el estudio	Cualitativa	Nominal	Lenguaje en el que se encuentra el artículo original

*Nota: descripción del análisis de variables.*

### Apéndice B. Instrumento de recolección - Prueba de conceptos



**EFFECTO BAUSCHINGER UNA REVISION BIBLOGRAFICA**

UNIVERSIDAD  
**SANTO TOMAS**  
SEDE PRINCIPAL

**FORMATO DE RECOLECCION DE INFORMACION**

<b>Titulo</b>	<b>Auto res</b>	<b>Revi sta</b>	<b>A ño</b>	<b>Pa is</b>	<b>Objet ivo</b>	<b>Dise ño del estu dio</b>	<b>Aleaci ones</b>	<b>Desenl aces evalua dos</b>	<b>Metodol ogia</b>	<b>Resultados(des cripcion magnitud estimadores de asociacion y sus intervalos de confianza)</b>	<b>Conclusi ones</b>	<b>Result ados con rob 2</b>
---------------	---------------------	---------------------	-----------------	------------------	----------------------	---	------------------------	---	-------------------------	--	--------------------------	--

**Apéndice C. Plan de Análisis Univariado**

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Escala de medición</b>	<b>Valor que asume</b>	<b>Medida de resumen</b>
<b>Título del artículo</b>	Dependiente	Nominal	Título del artículo registrado en la base de datos de donde fue extraído	
<b>Año de publicaciones</b>		Ordinal	Valores enteros	
<b>Autor</b>		Nominal	Apellido e inicial de cada autor	
<b>Revista</b>		Nominal	País donde se registró la investigación reportada por el artículo	
<b>Idioma</b>		Nominal	Lenguaje en el que se encuentra el artículo original	

*Nota: descripción de la análisis multivariado.*

**Apéndice D.** *Evaluación de la calidad metodológica, Haynuda, et al. 2006*

<b>Hanyuda, et al, 2006 (Hanyuda et al., 2006a)</b>			
<b>Pregunta</b>	<b>SI</b>	<b>No</b>	<b>No claro</b>
<b>1. ¿Este estudio aborda una pregunta claramente definida?</b>			X
<b>6. ¿El estudio utilizó métodos válidos para abordar esta pregunta?</b>			X
<b>7. ¿Son importantes los resultados válidos de este estudio?</b>	X		
<b>8. ¿Son estos resultados válidos e importantes aplicables a mi paciente o población?</b>	X		

<b>Hanyuda, et al, 2006 (Hanyuda et al., 2006a)</b>	<b>Respuesta</b>
<b>2. ¿Cuál es la pregunta de investigación?</b>	Fue llenar este vacío en nuestro conocimiento examinando el efecto sobre las características de carga- deflexión de los alambres de ortodoncia durante la flexión de tres puntos cuando la descarga se retrasó durante 21 días.
<b>3. ¿Por qué era necesaria la investigación?</b>	Evaluar si se generaba una deformación permanente al momento de carga/deflexión a ciertas distancias determinadas
<b>4. ¿Qué tipo de diseño de estudio se utilizó?</b>	Experimental
<b>5. ¿El diseño del estudio fue apropiado para responder la pregunta de investigación?</b>	Si

*Nota: descripción análisis de cálida para cada articulo*

**Apéndice E. Evaluación de la calidad metodológica, Burstone, et al, 1980**

<b>Burstone, et al, 1980 (Burstone &amp; Goldberg, 1980b)</b>			
<b>Pregunta</b>	<b>SI</b>	<b>No</b>	<b>No claro</b>
1. ¿Este estudio aborda una pregunta claramente definida?			X
2. ¿El estudio utilizó métodos válidos para abordar esta pregunta?			X
3. ¿Son importantes los resultados válidos de este estudio?			X
4. ¿Son estos resultados válidos e importantes aplicables a mi paciente o población?			X

<b>Burstone, et al, 1980 (Burstone &amp; Goldberg, 1980b)</b>	<b>Respuesta</b>
1. ¿Cuál es la pregunta de investigación?	No es claro
2. ¿Por qué era necesaria la investigación?	Dar a conocer las propiedades de los alambres de beta titanium
3. ¿Qué tipo de diseño de estudio se utilizó?	Revisión de tema
4. ¿El diseño del estudio fue apropiado para responder la pregunta de investigación?	No es claro
<b>Burstone, et al, 1980 (Burstone et al., 1985)</b>	<b>Respuesta</b>
5. ¿Cuál es la pregunta de investigación?	No es claro
6. ¿Por qué era necesaria la investigación?	Dar a conocer las propiedades de los alambres de beta titanium
7. ¿Qué tipo de diseño de estudio se utilizó?	Revisión de tema
8. ¿El diseño del estudio fue apropiado para responder la pregunta de investigación?	No es claro

*Nota: descripción análisis de cálida para cada artículo*

**Apéndice F.** *Evaluación de la calidad metodológica, M. Lorenzo, 2009.*

<b>M. Lorenzo 2009 (M. Lorenzo et al., 2009)</b>			
<b>Pregunta</b>	<b>SI</b>	<b>No</b>	<b>No claro</b>
<b>1. ¿Este estudio aborda una pregunta claramente definida?</b>	x		
<b>2. ¿El estudio utilizó métodos válidos para abordar esta pregunta?</b>	x		
<b>3. ¿Son importantes los resultados válidos de este estudio?</b>	x		
<b>4. ¿Son estos resultados válidos e importantes aplicables a mi paciente o población?</b>			X

<b>M. Lorenzo 2009 (M. Lorenzo et al., 2009)</b>	<b>Respuesta</b>
<b>5. ¿Cuál es la pregunta de investigación?</b>	Explicar el efecto Bauschinger exhibido por aceros de alta resistencia bajo ensayos de carga uniaxial de tracción compresión realizados a temperatura ambiente
<b>6. ¿Por qué era necesaria la investigación?</b>	Falta de información sobre el tema
<b>7. ¿Qué tipo de diseño de estudio se utilizó?</b>	Experimental
<b>8. ¿El diseño del estudio fue apropiado para responder la pregunta de investigación?</b>	Si

*Nota: descripción análisis de cálida para cada artículo*

**Apéndice G. Evaluación de la calidad metodológica, Burstone 1985.**

<b>Burstone 1985 (Burstone et al., 1985)</b>			
<b>Pregunta</b>	<b>SI</b>	<b>No</b>	<b>No claro</b>
<b>1. ¿Este estudio aborda una pregunta claramente definida?</b>	X		
<b>2. ¿El estudio utilizó métodos válidos para abordar esta pregunta?</b>	X		
<b>3. ¿Son importantes los resultados válidos de este estudio?</b>	X		
<b>4. ¿Son estos resultados válidos e importantes aplicables a mi paciente o población?</b>	X		

<b>Burstone 1985(Burstone et al., 1985)</b>	<b>Respuesta</b>
<b>5. ¿Cuál es la pregunta de investigación?</b>	Describir las propiedades mecánicas del alambre chino de NiTi con especial referencia a sus aplicaciones ortodóncicas
<b>6. ¿Por qué era necesaria la investigación?</b>	Nuevo material con mejores propiedades que el acero
<b>7. ¿Qué tipo de diseño de estudio se utilizó?</b>	experimental
<b>8. ¿El diseño del estudio fue apropiado para responder la pregunta de investigación?</b>	si

*Nota: descripción análisis de cálida para cada articulo*

**Apéndice H.** *Evaluación de la calidad metodológica, Gullota A, et al, 1987.*

<b>Gullota A, et al 1987 (45)</b>			
<b>Pregunta</b>	<b>SI</b>	<b>No</b>	<b>No claro</b>
<b>1. ¿Este estudio aborda una pregunta claramente definida?</b>	X		
<b>2. ¿El estudio utilizó métodos válidos para abordar esta pregunta?</b>	X		
<b>3. ¿Son importantes los resultados válidos de este estudio?</b>	X		
<b>4. ¿Son estos resultados válidos e importantes aplicables a mi paciente o población?</b>	X		

<b>Gullota A, et al 1987 (45)</b>	<b>Respuesta</b>
<b>5. ¿Cuál es la pregunta de investigación?</b>	¿Cómo afecta el efecto Bauschinger a las propiedades mecánicas y al comportamiento de los alambres ortodóncicos de acero inoxidable, y cuáles son las implicaciones clínicas de estos hallazgos para el tratamiento ortodóncico?
<b>6. ¿Por qué era necesaria la investigación?</b>	Para la optimización del tratamiento ortodóncico, Comprender cómo el efecto Bauschinger afecta las propiedades mecánicas de los alambres ortodóncicos es crucial para optimizar el diseño de los tratamientos ortodóncicos. Esto podría ayudar a los ortodoncistas a seleccionar los materiales y técnicas más adecuados para lograr los resultados deseados.
<b>7. ¿Qué tipo de diseño de estudio se utilizó?</b>	Experimental
<b>8. ¿El diseño del estudio fue apropiado para responder la pregunta de investigación?</b>	Si

*Nota: descripción análisis de cálida para cada articulo*

## Apéndice I. Construcción de estrategia de búsqueda y términos empleados

Términos para búsqueda	Mesh	Sinónimo o términos libres ingles	Decs	Sinónimo o términos libres	Portugués
Bauschinger	NA	Bauschinger	NA	NA	NA
Ortodoncia	Ortodoncia	Orthodontics	Ortodoncia	NA	Ortodontia
Maloclusión	Malocclusion		Maloclusión	Clasificación de Angle Dientes Apiñados Mala Oclusión Maloclusiones Malposición de los Dientes Mordida Cruzada	Má Oclusão
Alambres para ortodoncia	Orthodontic Wires		Alambres para ortodoncia		Fios Ortodônticos
Alambres superelásticos	NA	NA	NA	NA	NA
Acero inoxidable	Acero Inoxidable	Stainless Steel	Acero Inoxidable	NA	Aço Inoxidável
Nickel	Nickel	Nickel	Nickel	NA	Níquel
Titanio	Titanio	Titanium	Titanio	NA	Titânio
Acero perlítico	NA	NA	NA	NA	NA
Limite elástico	NA	NA	NA	NA	NA
Rigidez	Rigidez	Stiffness	Rigidez	NA	Rigidez
Carga	Carga	Drop	Carga	NA	Carga
Resistencia	Resistencia	Resistance	Resistencia	NA	Resistência
Tensión	Tensión	Interfacial Force Interfacial Tension Surface Tensions Tensión, Surface Tensions, Surface	Tensión	NA	Tensão Superficial
Shape memory	Shape memory	Alloy, Shape Memory Alloy, Shape-Memory Shape Memory Alloy Shape-Memory Alloy Shape-Memory Alloys	Shape memory	Aleaciones con Memoria de Forma	Ligas de Memória da Forma
Springback	NA	Springback	NA	NA	NA
Pseudoelasticidad	NA	Pseudoelasticidad	NA	NA	NA
Tratamiento térmico	Tratamiento Térmico	Thermic Treatment	Tratamiento térmico		Tratamento Térmico
Fuerza	Fuerza	Compressive Strength	Fuerza Compresiva	NA	Força
Medición de fuerza	NA	Force measurement	NA	NA	NA

Momento máximo	NA	NA	NA	NA	NA
Deformación permanente	NA	NA	NA	NA	NA

*Nota: descripción de la construcción estrategia de búsqueda y términos usados.*

## Apéndice J. Bitácora de búsqueda en Pubmed.

Search number	Query	Filters	Search Details	Results
1	Bauschinger[Title/Abstract]		"bauschinger"[Title/Abstract]	36
2	Orthodontics[Title/Abstract]		"Orthodontics"[Title/Abstract]	12,314
3	Malocclusion[Title/Abstract]		"Malocclusion"[Title/Abstract]	12,924
4	Orthodontic Wires[Title/Abstract]		"orthodontic wires"[Title/Abstract]	460
5	Stainless Steel[Title/Abstract]		"stainless steel"[Title/Abstract]	20,66
6	Nickel[Title/Abstract]		"Nickel"[Title/Abstract]	48,076
7	Titanium[Title/Abstract]		"Titanium"[Title/Abstract]	60,026
8	Pearlitic steel[Title/Abstract]		"pearlitic steel"[Title/Abstract]	26
9	#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8		"bauschinger"[Title/Abstract] OR "Orthodontics"[Title/Abstract] OR "Malocclusion"[Title/Abstract] OR "orthodontic wires"[Title/Abstract] OR "stainless steel"[Title/Abstract] OR "Nickel"[Title/Abstract] OR "Titanium"[Title/Abstract] OR "pearlitic steel"[Title/Abstract]	144,509
10	Elastic limit[Title/Abstract]		"elastic limit"[Title/Abstract]	311
11	Stiffness[Title/Abstract]		"Stiffness"[Title/Abstract]	88,254
12	Drop[Title/Abstract]		"Drop"[Title/Abstract]	92,542
13	Resistance[Title/Abstract]		"Resistance"[Title/Abstract]	926,243
14	Tensions, Surface[Title/Abstract]		"tensions surface"[Title/Abstract]	14
15	Shape memory[Title/Abstract]		"shape memory"[Title/Abstract]	4,24
16	Springback[Title/Abstract]		"Springback"[Title/Abstract]	145
17	Pseudoelasticity[Title/Abstract]		"Pseudoelasticity"[Title/Abstract]	76
18	Thermic Treatment[Title/Abstract]		"thermic treatment"[Title/Abstract]	50
19	Compressive Strength[Title/Abstract]		"compressive strength"[Title/Abstract]	9,348
20	Force measurement[Title/Abstract]		"force measurement"[Title/Abstract]	1,43
21	Maximum moment[Title/Abstract]		"maximum moment"[Title/Abstract]	94
22	Permanent deformation[Title/Abstract]		"permanent deformation"[Title/Abstract]	482
23	#10 OR #11 OR #12 OR #13 OR #14 OR #15 OR #16 OR #17 OR #18 OR #19 OR #20 OR #21 OR #22		"elastic limit"[Title/Abstract] OR "Stiffness"[Title/Abstract] OR "Drop"[Title/Abstract] OR "Resistance"[Title/Abstract] OR "tensions surface"[Title/Abstract] OR "shape memory"[Title/Abstract] OR "Springback"[Title/Abstract] OR "Pseudoelasticity"[Title/Abstract] OR "thermic treatment"[Title/Abstract] OR	1,110,845

			"compressive strength"[Title/Abstract] OR "force measurement"[Title/Abstract] OR "maximum moment"[Title/Abstract] OR "permanent deformation"[Title/Abstract]	
24	#9 AND #23		("bauschinger"[Title/Abstract] OR "Orthodontics"[Title/Abstract] OR "Malocclusion"[Title/Abstract] OR "orthodontic wires"[Title/Abstract] OR "stainless steel"[Title/Abstract] OR "Nickel"[Title/Abstract] OR "Titanium"[Title/Abstract] OR "pearlitic steel"[Title/Abstract]) AND ("elastic limit"[Title/Abstract] OR "Stiffness"[Title/Abstract] OR "Drop"[Title/Abstract] OR "Resistance"[Title/Abstract] OR "tensions surface"[Title/Abstract] OR "shape memory"[Title/Abstract] OR "Springback"[Title/Abstract] OR "Pseudoelasticity"[Title/Abstract] OR "thermic treatment"[Title/Abstract] OR "compressive strength"[Title/Abstract] OR "force measurement"[Title/Abstract] OR "maximum moment"[Title/Abstract] OR "permanent deformation"[Title/Abstract])	9,576
25	#9 AND #23	English	((("bauschinger"[Title/Abstract] OR "Orthodontics"[Title/Abstract] OR "Malocclusion"[Title/Abstract] OR "orthodontic wires"[Title/Abstract] OR "stainless steel"[Title/Abstract] OR "Nickel"[Title/Abstract] OR "Titanium"[Title/Abstract] OR "pearlitic steel"[Title/Abstract]) AND ("elastic limit"[Title/Abstract] OR "Stiffness"[Title/Abstract] OR "Drop"[Title/Abstract] OR "Resistance"[Title/Abstract] OR "tensions surface"[Title/Abstract] OR "shape memory"[Title/Abstract] OR "Springback"[Title/Abstract] OR "Pseudoelasticity"[Title/Abstract] OR "thermic	9,23

			treatment"[Title/Abstract] OR "compressive strength"[Title/Abstract] OR "force measurement"[Title/Abstract] OR "maximum moment"[Title/Abstract] OR "permanent deformation"[Title/Abstract])) AND (english[Filter])	
26	#9 AND #23	English, Portuguese	((("bauschinger"[Title/Abstract] OR "Orthodontics"[Title/Abstract] OR "Malocclusion"[Title/Abstract] OR "orthodontic wires"[Title/Abstract] OR "stainless steel"[Title/Abstract] OR "Nickel"[Title/Abstract] OR "Titanium"[Title/Abstract] OR "pearlitic steel"[Title/Abstract]) AND ("elastic limit"[Title/Abstract] OR "Stiffness"[Title/Abstract] OR "Drop"[Title/Abstract] OR "Resistance"[Title/Abstract] OR "tensions surface"[Title/Abstract] OR "shape memory"[Title/Abstract] OR "Springback"[Title/Abstract] OR "Pseudoelasticity"[Title/Abstract ] OR "thermic treatment"[Title/Abstract] OR "compressive strength"[Title/Abstract] OR "force measurement"[Title/Abstract] OR "maximum moment"[Title/Abstract] OR "permanent deformation"[Title/Abstract])) AND (english[Filter] OR portuguese[Filter])	9,232
27	#9 AND #23	English, Portuguese , Spanish	((("bauschinger"[Title/Abstract] OR "Orthodontics"[Title/Abstract] OR "Malocclusion"[Title/Abstract] OR "orthodontic wires"[Title/Abstract] OR	9,244

			"stainless steel"[Title/Abstract] OR "Nickel"[Title/Abstract] OR "Titanium"[Title/Abstract] OR "pearlitic steel"[Title/Abstract]) AND ("elastic limit"[Title/Abstract] OR "Stiffness"[Title/Abstract] OR "Drop"[Title/Abstract] OR "Resistance"[Title/Abstract] OR "tensions surface"[Title/Abstract] OR "shape memory"[Title/Abstract] OR "Springback"[Title/Abstract] OR "Pseudoelasticity"[Title/Abstract ] OR "thermic treatment"[Title/Abstract] OR "compressive strength"[Title/Abstract] OR "force measurement"[Title/Abstract] OR "maximum moment"[Title/Abstract] OR "permanent deformation"[Title/Abstract])) AND (english[Filter] OR portuguese[Filter] OR spanish[Filter])	
--	--	--	---	--

*Nota: descripción de bitácora de búsqueda y términos utilizado en Pubmed.*

**Apéndice K.** *Bitácora de búsqueda Ovid-embase*

<b>N</b>	<b>Línea</b>	<b>Resultado</b>
1	Bauschinger.mp. [mp=tx, bt, ti, ab, ct, kw, ot, fx, sh, hw]	(14)
2	Bauschinger.ti,ab.	(4)
3	Orthodontics.ti,ab.	(4208)
4	Malocclusion.ti,ab.	(4594)
5	Orthodontic Wires.ti,ab.	(112)
6	Superelastic wires.ti,ab	. (15)
7	Stainless Steel.ti,ab.	(5979)
8	Nickel.ti,ab.	(8185)
9	Titanium.ti,ab.	(17585)
10	Pearlitic steel.ti,ab.	(10)
11	1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6 or 7 or 8 or 9 or 10	(36514)
12	Elastic limit.ti,ab.	(68)
13	Stiffness.ti,ab.	(46044)
14	Drop.ti,ab.	(40515)
15	Resistance.ti,ab.	(282299)
16	Tensions, Surface.ti,ab.	(5)
17	Shape memory.ti,ab.	(683)
18	Springback.ti,ab.	(7)
19	Pseudoelasticity.ti,ab.	(9)
20	Thermic Treatment.ti,ab.	(5)
21	Compressive Strength.ti,ab	. (820)
22	Force measurement.ti,ab.	(331)
23	maximum moment.ti,ab.	(55)
24	Permanent deformation.ti,ab.	(85)
25	12 or 13 or 14 or 15 or 16 or 17 or 18 or 19 or 20 or 21 or 22 or 23 or 24	(365659)
26	11 and 25	(2157)

*Nota: descripción de bitácora de búsqueda y términos utilizado en Ovid-embase.*

**Apéndice L.** *Lista de estudio excluidos en texto completo y razone de exclusión*

N°	Año	Título	Razón exclusión
1	Deboeuf, et al, 2022	A mechanism of strain hardening and bauschinger effect: shear-history-dependent microstructure of elasto-plastic suspensions.	No resultaba interés
2	Watson, et al, 1973	Torsional prestrain and the bauschinger effect in steel	No resultaba interés
3	Bernal, et al, 2015	Intrinsic bauschinger effect and recoverable plasticity in pentatwinned silver nanowires tested in tension.	No área de interés
4	Brown, et al, 1977	Orowan's explanation of the bauschinger effect	No área de interés
5	Bate, et al, 1986	Analysis of the bauschinger effect	No área de interés
6	Sowerby, et al, 1979	A review of certain aspects of the bauschinger effect in metals	No resultaba interés
7	Miiliga, et al, 1966	The bauschinger effect in high strength steels	No resultaba interés
8	Prashant, et al, 2015	Friction in orthodontics	No desenlaza interés
9	Zhao, et al, 2020.	Bauschinger effect of mn18cr18n austenitic stainless steel	No resultaba interés
10	Adigamov, et al, 2022.	Bauschinger effect in alternating deformation	No desenlaza interés
11	Linchevskii, et al, 2008.	Improving the technology of metal processing by cutting and plastic deformation with the use of the bauschinger effect	No área de interés
12	Orowan, et al, 1959.	Causes and effects of internal stresses, internal stresses and fatigue in	No área de interés

*Nota: descripción de criterios de exclusión*