



Comportamiento De La Fuerza, De Atracción y Repulsión De Dos Tipos De Imanes

Para Movimiento Ortodóntico

Jury Castro Pineda Código: 10761915929

Milady Montenegro Código: 10761911301

Universidad Antonio Nariño

Programa ortodoncia

Facultad de Odontología

Bogotá, Colombia

2022

**Comportamiento de la fuerza, de tensión y compresión de dos tipos de imanes para
movimiento ortodóntico**

Jury Castro Pineda Código: 10761915929

Milady Montenegro Código: 10761911301

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ortodoncista

Director (a):

Dra. Elizabeth Arriaga Tafhurt

Odontóloga, Ortodoncista

Codirector (a):

Dra. Gretel González Colmenares

Odontóloga, PhD. Antropología Física y Forense

Línea de Investigación:

Biomateriales Dentales

Grupo de Investigación en Salud Oral

Universidad Antonio Nariño

Programa Ortodoncia

Facultad de Odontología

Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
Comportamiento de la fuerza, de tensión Y compresión de dos tipos de imanes para

Movimiento ortodóntico

Cumple con los requisitos para optar

Al título de ortodoncista.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá, 02 Mayo 2022.

Contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
1.	9
1.1	13
2. Objetivos	16
2.1 Objetivo General:	16
2.1.1	14
3. Justificación	17
4. Marco Teórico	20
4.1	18
4.2 Fuerza Óptima En Ortodoncia	20
4.3 Sistemas De Generación De Movimiento Ortodóntico	20
4.4 Aplicación De Campos Magnéticos En Odontología	20
4.5 Aplicación De Magnetismo En Ortodoncia	22
4.5.1 Efectos Biológicos De Los Campos Magnéticos En El Movimiento Dental	
<i>Ortodóntico</i>	22
4.5.2 Dispositivos Magnéticos En Ortodoncia	25
4.5.3 Aplicación De Principios Biomecánicos Con Incorporación De Magnetos En	
<i>Ortodoncia</i>	27
4.6 Propiedades Físicas De Los Magnetos	29
4.6.1 Características De Los Imanes	29
4.6.2 Aleaciones Utilizadas Para La Elaboración De Magnetos	29
5. Diseño Metodológico	31
5.1 Tipo De Estudio:	31

5.2. Objeto De Estudio:	31
5.3 Descripción Del Procedimiento	31
5.3.1 Recursos Humanos De La Investigación	31
5.3.2 Primera Etapa:	31
5.3.3 Segunda Etapa:	32
5.3.3.1 Fuerza Magnética De Tensión:	35
5.3.3.2 Fuerza Magnética De Compresión:	36
5.3.4 Aspectos Éticos De La Investigación	38
6.Resultados	39
6.1 Prueba De Compresión	39
6.2 Prueba De Tensión	40
6.3 Análisis Gráfico De Resultados: Medición De Fuerza Magnética Versus Desplazamiento De Los Magnetos	41
6.3.1 Prueba Tensión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 4 Mm	41
6.3.2 Prueba Tensión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 5 Mm	42
6.3.3 Prueba Tensión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 6 Mm	43
6.3.4 Prueba Compresión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 4 Mm	43
6.3.5 Prueba Compresión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 5 Mm	44
6.3.6 Prueba Compresión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 6 Mm	45
7. Discusión	46
Conclusiones	47
Recomendaciones	48
Bibliografía	49

Dedicatoria

A Dios por su infinita misericordia conmigo, por sus bendiciones sobre mí, por darme la fuerza para cumplir mis sueños y nunca desampararme. Soy testimonio de su promesa, y hoy mi Fe es más inquebrantable que nunca.

A mi papá y mi mamá por sus sacrificios, confianza y apoyo incondicional, por valorar mi resiliencia y enseñarme a resurgir de las cenizas. Gracias por no dejarme hundir y por ser soporte para mis hijos y para mí. Sin ustedes no sería nada.

A mis hijos, ustedes son mi motor, mi vida entera, mi sueño más grande. Esto fue por ustedes y para ustedes. Gracias por entender mis ausencias, mi estrés, mis responsabilidades. Ustedes son la forma más tangible en la que Dios me demostró todo su amor, más perfectos no pueden ser. Los amo.

A mis hermanas que cada día con su presencia, respaldo y cariño me impulsan para salir adelante, además de saber que mis logros también son los suyos.

A Mila, gracias por ser soporte durante estos tres años, gracias por enseñarme con tu tenacidad que podemos lograr todo lo que nos proponemos.

Jury Castro Pineda

Dedicatoria

A Dios por guiarme con sus lazos de amor y darme la fuerza para finalizar esta etapa de mi vida.

A mi hija por ser la luz y darme el ímpetu que necesitaba para culminar esta etapa.

A mi esposo por comprender mis ilusiones.

A mi familia por su apoyo, fe y confianza.

A Jury por caminar junto a mí este camino de gran aprendizaje, su apoyo incondicional fue fundamental para continuar.

Milady Montenegro Lázaro

Agradecimientos

A la Dra. Elizabeth Arriaga Tafhurt por compartir desinteresadamente sus conocimientos e ideas futuristas las cuales avivaron el tema de este trabajo. Por darnos la confianza y haber creído en nosotras.

A la Dra. Gretel González Colmenares por su dedicación, paciencia y disponibilidad para resolver nuestras dudas, por orientarnos y retornos en el camino para lograr el mejor resultado.

por su compromiso con el desarrollo de nuestro trabajo de grado, por sus explicaciones

Agradecemos la colaboración especial Posgrado Ortodoncia Universidad Antonio Nariño, Coordinador Dra. Carolina Longlax; Ingeniero Leonardo Blanco (Escuela Colombiana Ingeniería Julio Garavito).

Resumen

El objetivo central del documento es determinar la fuerza de tensión y compresión que generan dos tipos de aleaciones magnéticas de Neodimio y Samario Cobalto para poder incorporarlas al movimiento en ortodoncia. Para llevar a cabo esto se clasificaron dos grupos correspondientes a las dos aleaciones y cada uno con tres muestras correspondientes al grosor de los imanes 4mm,5mm y 6mm con el fin de determinar la fuerza efectiva que estos generaban a una distancia de 0 a 6 milímetros, se logró evidenciar a través de las pruebas realizadas en la máquina universal de ensayos, aumentó la fuerza generada en la prueba de compresión 89,2 g/f para ambas aleaciones; para la prueba de tensión se observó una pérdida de fuerza 19.2 g/f con el aumento de la distancia de los dispositivos para los imanes, presentando la aleación magnética de neodimio propiedades más adecuadas en cuanto a la magnitud de la fuerza.

Palabras clave: imanes en ortodoncia, movimiento dental ortodóntico, imanes Neodimio, imanes Samario Cobalto.

Abstract

The central objective of the document is to determine the force of tension and repulsion generated by two types of magnetic alloys in Neodymium and Samarium Cobalt in order to incorporate them into the movement in orthodontics. To carry out this, two groups corresponding to the two alloys were classified and each one with three samples corresponding to the thickness of the magnets 4mm, 5mm and 6mm in order to determine the effective force that these generated at a distance of 0 to 6 millimeters. , it is possible to demonstrate through the tests carried out in the universal testing machine an increase in the force generated in the compression test 89.2 g/f for both alloys; For the tension test, a loss of force of 19.2 g/f was observed with increasing distance from the devices to the magnets, with the neodymium magnet presenting the best properties.

Keywords: magnets in orthodontics, orthodontic dental movement, Neodymium magnets, Samarium Cobalt magnets.

Introducción

Mediante la aplicación de fuerzas mecánicas se produce el movimiento dental, por el cual son activadas células que son capaces de producir reacciones en el diente, hueso y ligamento periodontal. Dichas fuerzas pueden ser generadas a través de diferentes aditamentos cementados o incluidos a la estructura dental. La presente investigación se refiere al tema de fuerza magnética en ortodoncia, que se puede definir como la generación de fuerzas de tensión y compresión las cuales puedan ser utilizadas en sistemas nuevos ortodónticos.

Las características principales que deben tener estos sistemas son: constancia de la fuerza generada en el tiempo, permitir fuerzas que sean fisiológicas para el periodonto, disminuir la necesidad de cooperación del paciente para la generación del movimiento. Estudios recientes han demostrado la degradación de la fuerza inicial generada, como factor etiológico de retraso en los tratamientos. Este trabajo presenta el interés por conocer un nuevo aditamento que pueda permitir y dar solución a esta problemática. En el ámbito profesional ortodóntico podrán ser usados como alternativa a los sistemas convencionales (Brackets) Por otra parte, se deja la opción de futuros estudios para ser incluidos en ortopedia o rehabilitación oral.

La investigación se realizó mediante un estudio experimental de laboratorio con pruebas de medición de fuerza tensión y compresión a través de dos aleaciones magnéticas (Neodimio y Samario cobalto) cada imán presentó un diámetro de 4 mm, 5mm y 6 mm de forma redonda a una distancia de 0 a 6 milímetros. El objetivo del presente trabajo fue medir las fuerzas generadas para cada experimento, y analizar cual aleación presenta las

mejores propiedades al igual si hay diferencias en los diferentes diámetros para la generación de fuerza.

En este documento se recogen las siguientes fases de la investigación:

1. Una fase preparatoria donde se realizó una revisión de la literatura sobre los diferentes conceptos de fuerza óptima, en cuanto a los sistemas utilizados a través del tiempo; los dispositivos auxiliares usados, la generación de fuerza en ortodoncia y los aportes del campo magnético en Ortodoncia.

2. Trabajo de campo: Se presenta la metodología utilizada como la organización, elección, obtención y distribución de los grupos a estudiar (1 grupo: imanes samario Cobalto, 2 grupo: Neodimio), así como la obtención de los datos obtenidos por medio del Software de la máquina universal de ensayos.

3. En la fase analítica, se presentan las tablas y figuras comparativas de las dos aleaciones estudiadas con sus respectivos diámetros y distancias. Asimismo, se presentarán tabuladas las fuerzas generadas para cada sistema.

4. En la fase informativa se presentan los resultados, discusión y conclusiones generadas a partir de los datos obtenidos.

1. Planteamiento Del Problema

Actualmente hay una mayor demanda de tratamientos de ortodoncia, esto ha llevado a una mayor oferta de aparatología de ortodoncia, que ofrece, no solo beneficios estéticos, sino también la disminución del tiempo total de tratamiento. La ortodoncia tiene la capacidad de solucionar anomalías dentofaciales enmascaradas en diversas maloclusiones; las diferentes aparatologías existentes ofrecen versatilidad sobre el movimiento dental debido a los diferentes niveles de fuerza que se generan sobre los dientes. Por lo que es necesario mantener la salud de todas las estructuras de soporte dental para favorecer la respuesta biológica, estableciendo un sistema de fuerza óptimo (Ren et al., 2003).

Según la literatura de los últimos 70 años, el concepto de fuerza óptima ha cambiado; según Schwarz (2013) las fuerzas pueden ser muy por debajo del nivel óptimo, las cuales no provocan reacciones adversas en el ligamento periodontal, por ende, tampoco son recomendadas debido a que no producirán movimiento dental. Si, por el contrario, exceden el nivel óptimo, conducirán a la generación de áreas de hialinización con presencia de necrosis celular en el ligamento periodontal, situación que puede ocasionar retraso en el tratamiento de ortodoncia por la no generación de movimiento dental ortodóntico.

El movimiento dental ortodóntico debe considerarse como el resultado de reacciones biológicas a estímulos mecánicos aplicados externamente, que puede verse afectado por factores como tensiones y deformaciones en estructuras como el ligamento periodontal y el hueso alveolar, los cuales no han sido sistematizados de forma precisa en

la literatura. Los estudios calculan esta distribución de las fuerzas en el ligamento periodontal, ubicando el centro de resistencia en la corona del diente, sin embargo, esto hace que sea muy variable y se llegue a sobreestimar, lo cual ocasiona que los sistemas sean menos predecibles (Ren et al., 2003).

En ortodoncia encontramos brackets estéticos, convencionales, pasivos, activos de autoligado o ligado convencional por medio de elásticos, a los cuales, como métodos biomecánicos para generación de movimiento dental se les incorporan aditamentos como cadenetas, módulos elásticos, resortes, etc. Sin embargo, estos presentan un componente negativo y es la degradación de la fuerza que generan. Se menciona el uso de las cadenetas y ligaduras simples la cuales pierden el 74% de su fuerza inicial en las primeras 24 horas posterior a su activación en cavidad oral- Autores como Aldrees (2015) menciona que la reducción en la generación de fuerza fue mayor durante las primeras tres horas y después de cuatro semanas, específicamente, los módulos de cadenetas elastoméricas conservaron sólo alrededor del 40% de su fuerza original, lo cual hace reevaluar el costo beneficio y efectividad al utilizarlos en tratamientos de ortodoncia.

Otra técnica de la ortodoncia, explorada pero poco experimentada es la utilización de magnetos o imanes, los cuales producen un efecto físico cuántico llamado magnetismo, que permite una alineación continua de los átomos. Como efectos del campo electromagnético generados por la incorporación de magnetos en la cavidad oral, la literatura menciona el aumento de la vascularización y mejoramiento del metabolismo óseo (Tomizuka et al., 2006).

Estas fuerzas son útiles en diversos tratamientos de ortodoncia como fuente de fuerza biomecánica para tratar mordidas abiertas, retrusión mandibular, cierre de espacios,

distalización molar, extrusión y tracción de dientes impactados. Observando en pocos meses después de la aplicación de la fuerza magnética, movimientos considerables y poca recidiva post tratamiento con ausencia de cambios periodontales dañinos. La saliva actúa como coadyuvante electrolito cuando se insertan magnetos en la boca y así produce microcorrientes que actúan como estimuladores tisulares positivos (Hwang et al., 2001).

Es necesaria la creación de aditamentos ortodónticos que puedan cumplir con los objetivos del tratamiento mediante la generación de fuerzas y movimientos constantes. Por lo tanto, es necesario realizar una modificación a los sistemas tradicionales con el fin de solucionar esta problemática y generar un sistema más preciso con nuevas biomecánicas incorporadas.

Desde el punto de vista de los sistemas elásticos, los resortes que hoy se usan en ortodoncia, se estima que estos inducen un movimiento dentario utilizando una fuerza ortodóntica tradicional generada por la incorporación de elásticos o resortes, permitiendo que se presente un movimiento dental de 1 milímetro (1 mm) por mes (Echeverría et al., 2002). Con el desarrollo de esta nueva tecnología al introducir imanes que generan fuerzas magnéticas, se logra la generación de hasta 1,6 milímetros (1,6 mm) de desplazamiento dental por mes; este sistema magnético trabaja con una fuerza constante que se mantiene por un largo periodo de tiempo sin degradarse ni perder sus propiedades en comparación con sistemas tradicionales (1 mm por mes)[Tesis de Especialización, Universidad Antonio Nariño]).

Si se tiene en cuenta que la degradación o pérdida de la fuerza generada por materiales elásticos utilizados tradicionalmente es de hasta el 70% de pérdida de la fuerza

inicial después de las primeras 24 horas. La creación e incorporación en las mecánicas ortodónticas de este sistema magnético es de gran utilidad y aporte tecnológico gracias a que el campo magnético generado por el sistema no presenta degradación de la fuerza magnética sino por el contrario esta fuerza que se mantiene constante, permitiendo que el movimiento dental sea continuo y óptimo [Tesis de Especialización, Universidad Antonio Nariño]).

Lo anterior permite la reducción en un 50% de las activaciones que se deben realizar al sistema durante la consulta ortodóntica, permitiendo que el paciente necesite asistir a menor cantidad de controles para la activación del sistema y que su tratamiento sea más efectivo, en un menor tiempo con un comportamiento biológico favorable. Por ejemplo: Si un paciente presenta un espacio de 7 mm podemos predecir que con mecánicas tradicionales utilizando resortes o módulos elásticos que generan un movimiento promedio de 1 mm por mes, lograremos el cierre de espacio en 7 meses aproximadamente (Arriaga, E.J.M. (2013) Diseño de un aditamento magnético para la retracción canina [Tesis de Especialización, Universidad Antonio Nariño]).

Otros beneficios adicionales de esta tecnología son su fácil colocación en la cavidad oral, dado que no necesita de la perforación de imanes (tarea casi imposible y costosa), y el amarre de los mismos al riel de ajuste de los Brackets. También es una aplicación superior en cuanto a que el sistema sigue utilizando los brackets convencionales, lo cual también permite que un usuario pueda pasar de una sistema de elásticos o resortes, a un sistema magnético, con mínimas modificaciones. De este nuevo sistema de generación de movimiento ortodóntico con incorporación de fuerza magnética, es necesario conocer las características y el proceso de prototipado, para en futuras investigaciones realizar las

validaciones clínicas e incorporación en el mercado [Tesis de Especialización, Universidad Antonio Nariño]).

1.1 Pregunta de Investigación

¿Cuáles son las fuerzas de atracción y repulsión generadas por magnetos de diferentes diámetros y aleaciones, colocados a diferentes distancias que puedan ser útiles para un nuevo sistema de movimiento ortodóntico?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General:

Evaluar la capacidad de generación de fuerza de tensión y compresión de magnetos de 4mm, 5mm y 6 mm de diámetro comparando dos tipos de aleaciones (Samario Cobalto y Neodimio).

2.1.1 Objetivos Específicos

Determinar la fuerza de tensión y compresión generada por los magnetos de aleaciones (Samario Cobalto y Neodimio) a una distancia de 0 mm a 6 mm.

3. Justificación

Este trabajo se desarrolla dentro de la línea de Biomateriales Dentales de la sublínea de desarrollo de Aditamentos En Ortodoncia, perteneciente al grupo de Investigación en Salud Oral de la Facultad de Odontología de la Universidad Antonio Nariño que tiene como objetivo contribuir con nuevas tecnologías innovadoras aplicables al mercado.

Hoy en día son usados diferentes sistemas de fuerza en las diversas mecánicas de ortodoncia, cuando estos sistemas son conformados por un elastómero es de conocimiento que esa fuerza aplicada se degradará con el paso de los días llegando a ser tan bajas que no alcanzan a generar el movimiento dental requerido, lo cual no permitirá la resolución del tratamiento. Por este motivo intentar mantener una fuerza constante durante el tratamiento de ortodoncia que garantice la calidad y cantidad del movimiento dental que se desea lograr; es un reto que ocupa a los especialistas y genera grandes desventajas respecto a estas formas de generación de movimiento dental como módulos elásticos, cadenas y resortes (Kim, 2005).

Los imanes tienen ventajas significativas sobre otros sistemas ortodónticos con cadenas elásticas y resortes, ya que pueden generar una fuerza medida de forma continua durante largos períodos de tiempo, logrando menor tiempo total de tratamiento, menor número de controles ortodónticos y por consiguiente beneficios económicos en pro del paciente. Los imanes pueden ser activados por atracción o repulsión magnética, por tanto, se pueden utilizar para generar diferentes movimientos biomecánicos requeridos en los tratamientos de ortodoncia. La fuerza que entregan se puede dirigir y se puede ejercer a

través de la mucosa y el hueso, ya que no es necesario que exista un contacto directo entre ellos (Noar et al., 2014).

Para la práctica diaria del ortodoncista es de vital importancia tener la certeza de que las biomecánicas aplicadas sobre el paciente van a cumplir el objetivo inicial propuesto, esto garantizará que se van a lograr los movimientos planeados al inicio del tratamiento.

Las diferentes técnicas de ortodoncia tradicionales, usan dispositivos auxiliares a la aparatología base que emplean diferentes tipos de fuerza; algunos constante al ser activados como resortes, alambres térmicos o superelásticos otros usan fuerza interrumpida con la que generan los elastómeros o fuerza intermitente como tracciones extraorales o aparatología removible, todos estos generan fuerzas elevadas en etapas iniciales y progresivamente más ligeras a medida que avanza el movimiento de los dientes. Por el contrario, la fuerza magnética genera fuerza ligera en las fases iniciales y aumenta a medida que disminuye la distancia entre los imanes (Arriaga,2013) Diseño de un aditamento magnético para la retracción canina n [Tesis de Especialización, Universidad Antonio Nariño].

Esto otorga así numerosas ventajas clínicas sobre la mecánica tradicional, favorable para las aplicaciones en ortodoncia ya que, la mayoría de los dispositivos aplican una fuerza decreciente, mientras que la fuerza magnética aumenta según el tamaño y la distancia del imán (Tomizuka et al., 2006).

En investigaciones previas se encontró que el efecto del tratamiento de ortodoncia con imanes fue una respuesta rápida en la verticalidad dental y la relación esquelética. En casos de mordida abierta se logró corrección en un período de menos de 4 meses,

especialmente en pacientes en período de dentición mixta temprana. En estos individuos el tratamiento provocó una mejora de la sobremordida vertical con un rango de 2.5 a 4.5 mm. Se debe tener precaución con el uso intensivo de imanes, debido a que conducen a cambios considerables en la dirección transversal, es decir, mordida cruzada. La transferencia de la fuerza continua a los dientes posteriores, varía en magnitud según la distancia entre los imanes; a mayor cercanía entre los imanes, mayor es la fuerza (Kiliaridis et al., 1990).

Debido a estas falencias en los sistemas anteriores, es necesaria la creación de un prototipo de movimiento dental el cual abarque las mejoras a todas las consideraciones tratadas anteriormente, contribuyendo en la creación de un nuevo sistema ortodóntico con disminución de la degradación de la fuerza, menores cambios periodontales, disminución del tiempo del tratamiento y movimientos más eficaces para los ortodoncistas y los pacientes.

4. Marco Teórico

4.1 Mecanismo De Acción Del Movimiento Ortodóntico

El movimiento dental en ortodoncia es el resultado de una serie de momentos que generan el desplazamiento de los dientes por medio de actividad celular que genera aposición y reabsorción ósea; este se realiza mediante tres tipos de células óseas: osteoclastos, osteocitos y osteoblastos (Davidovitch et al., 1991). En el proceso celular que ocurre en el movimiento ortodóntico es indispensable hablar de los fibroblastos, éstos constituyen alrededor del 60 % de toda la totalidad de células que hacen parte del ligamento periodontal y contribuyen a la respuesta de éste a las fuerzas mecánicas. Células como macrófagos, linfocitos y células endoteliales forman la línea de los vasos sanguíneos (Jiang et al., 2016).

El diente está unido directamente al hueso alveolar por el ligamento periodontal que está compuesto por fibras colágenas que se adhieren al cemento radicular y al hueso directamente. El ligamento periodontal es un paquete de fibras colágenas unida al hueso alveolar y al cemento radicular de tal manera que funciona como amortiguador generando estabilidad y protegiendo al diente y al hueso de las fuerzas masticatorias excesivas (Jong et al., 2017).

El proceso de osteoclastogénesis es regulado por las citocinas, las cuáles son conocidas como mediadores químicos que tienen una función específica en la diferenciación de Macrófagos en osteoclastos maduros. Las células inflamatorias provenientes del torrente sanguíneo directo al ligamento periodontal como consecuencia del movimiento ortodóntico, se expresan al ligando RANKL, que se une al receptor

RANK. Se demostró que hay un aumento considerable de citoquinas proinflamatorias IL B y IL6 cuando se produce el movimiento dental, así como; Dentro del grupo de las Interleuquinas encontramos las Beta y Alfa las cuales juegan un papel decisivo en cuanto al metabolismo, estimulación e inhibición de la formación de hueso (Alhashimi et al., 2001).

Luego se inicia un proceso de adherencia de todo este conjunto de células para formar osteoclastos más diferenciados. Algunas de ellas producen un receptor señuelo de RANKL conocido como osteoprotegerinas (OPG) que regula la osteoclastogénesis ya disminuida. Durante la fase inicial del movimiento dental se liberan quimiocinas, que terminan convirtiéndose en macrófagos tisulares u osteoclastos. Luego durante esta misma fase, se libera una gran cantidad de mediadores de células inflamatorias y locales, como citoquinas, proteínas extracelulares que inducen procesos tanto inflamatorios como antiinflamatorios. Estas células inflamatorias liberan cierto número de reguladores inflamatorios (Alikhani et al., 2015).

Dentro de los mediadores inflamatorios liberados durante el movimiento dental ortodóntico contamos con las prostaglandinas y los neuropéptidos, las primeras son derivadas de la cascada del ácido araquidónico cuya función se ve involucrada siempre en procesos de vasodilatación, adhesión celular y aumento de la permeabilidad vascular; ellas se producen por células locales o por las citoquinas. Las segundas, son proteínas encargadas de transmitir las señales de dolor y modulan la permeabilidad vascular (Garlet et al., 2007).

4.2 Fuerza Óptima En Ortodoncia

La ortodoncia abarca el conjunto de fuerzas y momentos los cuales se transmiten y son aplicados a través del sistema cementado al diente. Estas fuerzas pueden ser nocivas o efectivas; La fuerza óptima debe proveer una respuesta máxima con mínimo de daño sobre el periodonto de un diente el cual se debe mover a través del hueso alveolar como consecuencia del proceso de remodelación del ligamento periodontal y el hueso. Si la fuerza es excedida se producirá reabsorción apical externa, inclinación no controlada e hialinización, por el contrario si la fuerza es muy leve no producirá movimiento alguno (Theodorou et al., 2019)

Actualmente se estudian diversos mecanismos para determinar si ese movimiento ortodóntico es el adecuado, y la magnitud de la fuerza juega un papel fundamental en esta función; las variables como duración de la fuerza, crecimiento, medicación, individualidad del paciente afectan la calidad y cantidad del movimiento (Theodorou et al., 2019). De acuerdo a Schwartz, las fuerzas adecuadas no causan reacción alguna en el ligamento periodontal, siempre y cuando cumpla con características específicas que garanticen el movimiento, ellas son: fuerzas continuas y constantes, éstas producen un máximo de movimiento dental sin generar daño alguno sobre los tejidos del paciente (Yijin et al., 2003).

4.3 Sistemas De Generación De Movimiento Ortodóntico

En ortodoncia encontramos brackets estéticos, convencionales, pasivos, activos de autoligado o ligado convencional por medio de elásticos, a los cuales como métodos biomecánicos para generación de movimiento dental se les incorporan aditamentos como

cadenetas, módulos elásticos, resortes, etc. los cuales presentan un componente negativo y es la degradación de la fuerza que generan (Monika et al., 2019).

Se menciona el uso de las cadenas y ligaduras simples las cuales pierden el 74% de su fuerza inicial en las primeras 24 horas posterior a su activación en cavidad oral, otros autores como mencionan que la reducción en la generación de fuerza fue mayor durante las primeras tres horas y después de cuatro semanas, los módulos de cadenas elastoméricas conservaron sólo alrededor del 40% de su fuerza original, lo cual hace reevaluar el costo beneficio y efectividad al utilizarlos en tratamientos de ortodoncia (Wong et al., 2015)

4.4 Aplicación De Campos Magnéticos En Odontología

Los instrumentos magnéticos se han utilizado en el tratamiento ortopédico de la mordida abierta esquelética y retrusión mandibular, o en tratamientos de ortodoncia para mecánicas específicas en la que se requiera cerrar espacios, distalizar, extruir, intruir o traccionar dientes impactados (Hwang, 2001).

Para traccionar dientes impactados, por ejemplo, se puede realizar un imán, recubierto en acrílico modificado con un brazo de extensión, que es el que permitirá finalmente, la tracción del diente impactado, por medio de la unión del aparato metálico al diente luego de la exposición quirúrgica, el diente impactado estará sometido a fuerzas controladas mediante las activaciones correspondientes al brazo de extensión (Address et al., 2008). En rehabilitación, los imanes aumentan la estabilidad y potencializan la funcionalidad de las prótesis dentales, generando una fuerza resistente y permanente dirigida a la longevidad de la misma (Freedman, 1953).

Como se habló anteriormente, los dispositivos magnéticos tienen la capacidad de ser utilizados como una de las alternativas para generar mecánicas eficientes. Por ejemplo, al hablar de los pacientes en crecimiento, los magnetos permiten diseñar aparatos ortopédicos para pacientes clase II esquelética menos voluminosos que ofrecen mayor confort al paciente, por lo tanto, generan una actitud colaboradora en el tratamiento lo que garantiza resultados óptimos (Darendeliler, 2016).

Además, también ha sido reportado en la literatura la capacidad que estos dispositivos tienen para generar una mejor posición de reposo durante el avance mandibular, permitiendo generar una apertura en la mordida, en casos en los que se presenten mordidas profundas. Por supuesto, estas características permiten una rápida adaptación y una notoria mejoría en la función masticatoria. En mecánicas ortodónticas para intrusión dental, las fuerzas magnéticas pueden ser efectivas cuando se usan aparatos removibles que contengan en su interior imanes. Se ha sugerido que este tipo de dispositivos podrían generar un aumento en la dimensión vertical (Darendeliler, 2016).

4.5 Aplicación De Magnetismo En Ortodoncia

4.5.1 Efectos Biológicos De Los Campos Magnéticos en el Movimiento

Dental Ortodóntico

El movimiento ortodóntico es el resultado de la aplicación de fuerzas a los dientes y estas son producidas por diferentes aparatos y aditamentos (módulos elásticos, resortes) los cuales son insertados y activados por el profesional. Las diferentes aparatologías existentes ofrecen versatilidad sobre el movimiento dental que se genera debido al nivel de fuerza, es necesario mantener la salud periodontal para que la respuesta biológica se mantenga en un sistema de fuerza óptimo (Ren et al., 2003).

La literatura menciona que, en los últimos 70 años, el concepto de fuerza óptima ha cambiado. Si se exceden los niveles de fuerza conducirá a una falla en el movimiento dental con áreas de necrosis celular provocando retraso en el tratamiento ortodóntico. Para poder calcular esta distribución de las fuerzas en el ligamento periodontal, es necesario ubicar el centro de resistencia en la corona del diente, el cual es un punto muy variable y se llega a sobreestimar, ocasiona que los sistemas sean menos predecibles (Ren et al., 2003)

Con los continuos cambios en la aparatología ortodóntica y las demandas de efectividad en los tratamientos es necesario la aplicación de un método alternativo que permita incorporar de manera versátil un aditamento o mecánica, que solucione las desventajas de métodos tradicionales en la segunda fase del tratamiento, logrando una mayor eficacia y comodidad para los pacientes con las diferentes técnicas ortodónticas (Blechman et al., 1985. P. 209).

Desde el año 1985, se ha estudiado el efecto de las fuerzas magnéticas en los tratamientos ortodónticos, estudios como el de Blechman, presentan los resultados iniciales de los sistemas de fuerza magnética aplicada en la ortodoncia clínica, realizando una descripción del uso de imanes pequeños permanentes para la mecánica intermaxilar e intramaxilar. Por lo que se demostró que las fuerzas magnéticas son capaces de generar una fuerza de suficiente intensidad y duración, y que pueden ser controladas por el operador; otras ventajas evidentes son el control de los vectores en los tres planos del espacio, lo cual permite mayor efectividad en el resultado, sin requerir mucha cooperación del paciente (Blechman et al., 1987. P.209-211).

Más adelante en 1987, otros trabajos tuvieron como propósito determinar si la aplicación de un campo electromagnético simple podría aumentar la velocidad y la cantidad de movimiento dental durante el tratamiento ortodóntico observado en conejillos de Indias. También se evaluó, en estos estudios los efectos de los campos electromagnéticos en cuanto a la fisiología y metabolismo óseo, y la búsqueda de posibles efectos secundarios sistémicos (Stark et al., 1991. P. 91 -104).

Kawata, (1987) tuvo como objetivo el diseño de unos brackets que presentaban un borde magnetizado para proporcionar un sistema de fuerza que se acercara a los requisitos de ortodoncia ideal. En 1988, se realizó un estudio sobre los efectos de los imanes de samario-cobalto y los campos electromagnéticos pulsados en el movimiento dental. El objetivo de este estudio fue determinar si el uso de cualquier magneto podría aumentar la cantidad de movimiento ortodóntico y evaluar el efecto de un campo magnético en la fisiología y metabolismo óseo monitoreando los posibles efectos secundarios. Se utilizaron 15 gramos de fuerza para mover los incisivos en dirección lateral; en una muestra de 18 cerdos, divididos en 3 grupos. En el primer grupo se utilizaron resorte de ortodoncia, en el segundo grupo magnetos de samario-cobalto, en el tercer grupo se utilizó un muelle con helicoide en combinación con un campo electromagnético. Estos últimos tuvieron éxito en la tasa de movimiento, sobre los resortes solos. El mecanismo utilizado parece haber reducido el tiempo normal del movimiento ortodóntico. Los grupos estimulados magnéticamente mostraron aumento en la organización y en la cantidad de hueso nuevo depositado en la zona de tensión (Darendeliler et al., 1988).

El uso de los imanes en la práctica de ortodoncia, ha tenido usos muy específicos, y es preciso aclarar que permiten al operador trabajar con sistemas de fuerzas controlados,

en el que se pueden calcular sus momentos y fuerzas. Esto garantiza que sean predecibles los movimientos que se realizan. El uso de los imanes es eficaz cuando son aplicadas biomecánicas ortodónticas, por ejemplo, para la extrusión ortodóntica, debido a que no generan dehiscencia de tejidos blandos, ni reabsorciones radiculares, estos dispositivos magnéticos proporcionan una fuerza diferente a las convencionales porque a medida que aumenta la fuerza, también aumenta la calidad de ese movimiento dental (Bond Mark et al.,1997).

Las fuerzas ortodónticas magnéticas, se popularizaron cuando se iniciaron investigaciones en los que se introdujo imanes de tierras raras, por su potencia en la fuerza y la estabilidad que son capaces de crear. Se ha sugerido que las corrientes eléctricas o el campo magnético pulsante generado por los imanes dentro de la boca aumentan la vascularización y mejoran el metabolismo óseo (Uribe et al., 1998).

4.5.2 Dispositivos Magnéticos En Ortodoncia

El uso de imanes estaba limitado debido a la falta de disponibilidad de imanes de tamaño pequeño, pero después de la introducción de imanes de tierras raras y su disponibilidad en tamaños más pequeños, su uso ha aumentado considerablemente. La fuerza que entregan se puede dirigir y pueden ejercer su fuerza a través de la mucosa y el hueso (Zhiyue., 2003).

Los imanes funcionan mediante un fenómeno denominado magnetismo el cual se produce debido a un efecto físico cuántico llamado acoplamiento de intercambio, que da como resultado la alineación de los momentos dipolares magnéticos de los átomos. Esta alineación persistente de momentos dipolares magnéticos en materiales magnéticos es responsable del fenómeno del magnetismo (Sandler et al.,1989).

Estos han sido utilizados inicialmente en odontología en la fijación de prótesis acrílicas, la retención de sobre dentaduras, movimientos individuales ortodónticos como intrusión, extrusión, aparatología ortopédica funcional, expansión ortopédica, aunque su uso fue un fracaso debido al desplazamiento sagital incompetente, ya que el contacto era de aproximadamente de 8 a 2 minutos en un periodo de 24 horas y de 1 a 2 minutos durante la noche. Lo cual reflejó una duración efectiva limitada (Ren et al., 2003).

Como ventajas poseen una reducción del tiempo de tratamiento, lo que no provocó ni dolor ni malestar, ni problemas periodontales. *Hwang y Lee*, (2001) informaron el uso de fuerza magnética junto con un procedimiento de corticotomía, para lograr el movimiento en ortodoncia. El informe de la OMS de 1987 establece que los campos magnéticos estáticos de hasta 2T no muestran efectos significativos en la salud.

A diferencia de otros estudios en donde como desventaja la literatura refiere la baja resistencia a la corrosión, su fragilidad y pérdida del efecto magnético al calentarse. Otros autores Ahmad et al. (2003) de la Universidad de IL Chicago presentaron un estudio recubriendo imanes para disminuir la pérdida de magnetismo, se evidenció que después de 4 semanas hubo corrosión y disminución en la densidad del flujo de la fuerza magnética, obligando al recambio constante de los imanes o al cambio en el recubrimiento del imán.

Para evitar este efecto corrosivo el diseño del dispositivo contempla el recubrimiento de los magnetos con una carcasa para evitar fisuras, rayones y daño de la superficie del magneto para prevenir corrosión (Ahmad et al., 2006).

Imán de ferrita La ferrita de bario y estroncio son usados para la preparación magnética. Estos imanes son altamente resistentes a la desmagnetización y están

disponibles tanto en forma isotrópica como anisotrópica. La densidad es de 5 g / cm. 3 y estos imanes no se utilizan en ortodoncia (Sharma et al., 2015)

Los Imanes de aluminio, níquel y cobalto ofrecen una alta intensidad de campo a un costo razonable. Son físicamente más fuertes que cualquier otro material magnético. Comercialmente está disponible en forma de barra y anillo. Su densidad es de 7,3 g / cm. 3. Estos imanes están disponibles en formas isotrópicas y anisotrópicas. Pero los riesgos de desmagnetización y alto costo fueron los problemas con estos imanes convencionales. La aplicación clínica de los imanes de tierras raras está muy restringida debido a su tamaño. Estos, se encuentran disponibles imanes de samario-cobalto (Sm-Co) y neodimio-hierro-boro (Nd Fe B). Estos imanes de tierras raras, que pertenecen a la serie de los lantánidos, son 20 veces más fuertes que los imanes anteriores (Sharma et al., 2015).

Blechman, (1987) patentó un “*aparato ortodóntico magnético*”, el cual usa tres tipos de imanes con dimensiones de 6mm x 4mm x 3mm con un candado tipo “Russel” que cuelgan al arco de alambre base. Como desventajas del sistema se evidenció el volumen aumentado, la versatilidad limitada en su construcción, la necesidad de adhesivos biocompatibles para evitar la corrosión en boca, la tendencia a la fractura. Posteriormente mejoró el sistema logrando una mayor versatilidad para ser instalados vestíbulo lingual, sin incomodidad para el paciente.

4.5.3 Aplicación De Principios Biomecánicos Con Incorporación De Magnetos En Ortodoncia

En ortodoncia encontramos diferentes catálogos de brackets desde los estéticos, metálicos pasivos, activos de autoligado o ligado por medio de elásticos, todos con diferentes partes dentro de su sistema con inclinaciones para expresiones de torque,

inclinaciones y demás sistemas de ligado. La literatura menciona como aditamentos para realizar el ligado: las cadenas y ligaduras simples, la cuales son fabricadas por muchas empresas, se menciona que estas pierden el 74% de su fuerza inicial en 24 horas, Se encontraron diferencias significativas en el porcentaje medio de desintegración de la fuerza.

Dos tipos de estas son AO-Memory y Ormco mantuvieron la mayor parte de su fuerza original al final del intervalo de cuatro semanas, y estos módulos mantienen sólo alrededor de 40% de su fuerza original. Otros autores como Wong mencionan que la reducción fue mayor durante las primeras tres horas. Lo cual hace reevaluar el costo beneficio de estos sistemas de ligado (Aldrees et al., 2015).

Un imán Sm Co consiste en un bracket con una superficie para recibir los arcos de alambre y una malla en la superficie inferior para facilitar la unión directa a los dientes. Los imanes se recubrieron con níquel y cromo para evitar la corrosión. Están diseñados para entregar 250g de fuerza y formar un arco ideal tanto en el maxilar como en la mandíbula al completar el tratamiento. Aunque se observaron tiempos de tratamiento más cortos y buena biocompatibilidad y dimensiones de los brackets para obtener los niveles de fuerza necesarios; la complejidad de las preparaciones de laboratorio se considera la máxima desventaja (Bondemark et al., 1992).

Una versión recientemente modificada desarrollada por Kawata tiene una ranura incorporada en los imanes que permite la mecánica simultánea de arcos de alambre con un atractivo sistema de fuerza magnética. El uso de magnetos provee un método exitoso para el cierre de los diastemas, ventajas como mínima inclinación radicular, menos tiempo de

trabajo, la activación de la aparatología no es necesaria, es de fácil higiene oral, son económicos y se pueden esterilizar (Kawata., 1987).

4.6 Propiedades Físicas De Los Magnetos

4.6.1 Aleaciones Utilizadas Para La Elaboración De Magnetos

En odontología se han usado imanes desde 1970, su elevado costo produjo desuso. Con los avances se han realizado modificaciones y nuevas aleaciones más viables lo cual produjo su reintegro a la investigación como posible opción para generar movimiento en ortodoncia. Estos nuevos imanes de alta energía tienen una gran ventaja por su propiedad para resistir la desmagnetización como propiedad intrínseca realizada durante su fabricación. Además de otras propiedades como la de anisotropía magneto cristalina, la cual permite la orientación de la fuerza en una sola dirección. Otras aleaciones como samario-cobalto (Sm Co 5) y neodimio-hierro-boro imanes (Nd 2 Fe 14 B) han sido desarrollados; con el objetivo de disminuir el tamaño de los imanes para producir un correcto flujo magnético en boca (Blechman et al., 1986).

En ortodoncia se utilizan dos tipos de imanes: El samario-cobalto (SmCo₅, Sm₂Co₁₇) y neodimio-hierro boro (Nd₂Fe₁₄B) con densidad de flujo mayor que la del imán de Sm-Co, lo cuál ha sido demostrado en múltiples estudios. Pero tienen menos resistencia a la desmagnetización y es más propenso a la corrosión (Hwang et al., 2001).

Las propiedades magnéticas superiores en comparación con otros imanes de tierras raras excepto los imanes de Nd-Fe-B, Incluso con una forma plana, apenas hay desmagnetización, lo que la hace ideal y pequeña para uso en ortodoncia, la fuerza necesaria en ortodoncia se puede obtener a partir de un tamaño pequeño del imán medible en mm. 4. Las propiedades magnéticas son invariables en el transcurso del tiempo, es

decir, alta resistencia a la desmagnetización con el tiempo, presentan una gran resistencia a la corrosión comparativamente alta ya que están recubiertos de parileno para evitar fugas de sustancias tóxicas (Bondemark et al., 1992).

5. Diseño Metodológico

5.1 Tipo De Estudio:

Estudio experimental de laboratorio de un sistema ortodóntico.

5.2. Objeto De Estudio:

Se seleccionaron aleaciones magnéticas de Neodimio y Samario Cobalto en diámetros de 4mm, 6mm, 8mm de forma redonda.

5.3 Descripción Del Procedimiento

5.3.2 Primera Etapa:

Adquisición de los magnetos seleccionados en aleaciones de Neodimio, Samario Cobalto de 4 mm, 5 mm, 6 mm de diámetro, que tuvieron las siguientes características y parámetros de evaluación (Ver Tabla No. 1). Estos magnetos fueron ubicados en la Máquina Universal de Ensayos Shimadzu, a través de soportes fabricados de aluminio, troquelados al diámetro de los imanes y en donde se realizaron pruebas de medición de fuerza magnética de tensión y compresión para cada uno de los magnetos evaluados con el fin de determinar cuál generaba niveles de fuerza óptimas para el movimiento distal y mesial.

Tabla 1.

Operalización De Variables: Características y parámetros de evaluación de magnetos

Nombre	Definición operativa	Tipo variable	Escala de medición
<i>Aleación</i>	Tipo de magneto	Cualitativa	Independiente
<i>Diámetros</i>	Medida en milímetros diámetro de magnetos	Cuantitativa	Nominal
<i>Fuerza de tensión y compresión magnética</i>	Cuantificación de unidad de masa / unidad de fuerza	Cuantitativa	Intervalo

5.3.3 Segunda Etapa:

Figura 1.

Imagen con las muestras seleccionadas de las aleaciones a estudiar.



La muestra se dividió en 3 grupos marcados como: A, B y C (según el diámetro de los magnetos) con dos subcategorías 1 y 2 (correspondiente a las dos aleaciones).

- A1: 4 imanes de Neodimio de 4 mm para prueba de tensión y compresión.
- A2: 4 imanes de Samario Cobalto de 4 mm para prueba de tensión y compresión.
- B1: 4 imanes de Neodimio de 5 mm para prueba de tensión y compresión.
- B2: 4 imanes de Samario Cobalto de 5 mm para prueba de tensión y compresión.
- C1: 4 imanes de Neodimio de 6 mm para prueba de tensión y compresión.
- C2: 4 imanes de Samario Cobalto de 6 mm para prueba de tensión y compresión.

Se adaptó cada uno de los imanes a los soportes troquelados según el diámetro de 4 mm, 5mm y 6 mm de aluminio su composición, ya que este metal es un material paramagnético, lo que significa que tiene una débil atracción por los imanes. Lo cual permitió medir la fuerza neta sin pérdida o sesgo en el campo magnético entre los dos imanes.

Figura 2.

Soportes en aluminio, troquelados a 4mm, 5mm y 6mm.

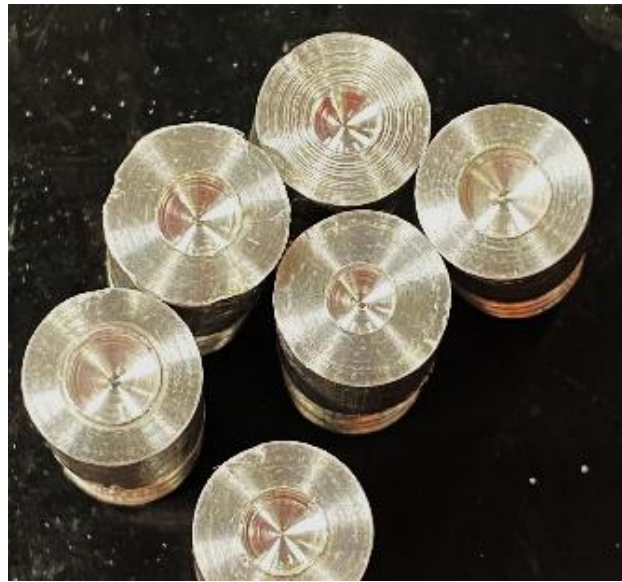


Figura 3.

Magneto sumergido en la cabeza del soporte previamente fresado, para el mayor control de la distancia céntrica, mejorando su manipulación y evitando su desalajo.



5.3.4 Ensayos Medición De Fuerza Magnética

Posteriormente se realizó la creación y simulación de las condiciones del estudio, Estos soportes sirvieron como adaptadores en las guías de sujeción de la Máquina Universal de Ensayos Shimadzu® (Figura 2). Se realizó una calibración inicial la cual consistió en colocar los soportes adaptados con los magnetos mediante una sustancia adhesiva, acercar y alejar las diferentes aleaciones y comprobar con el Software la medición de la fuerza generada.

Figura 4.

Magnetos ajustados a la máquina Universal de ensayos Shimadzu®



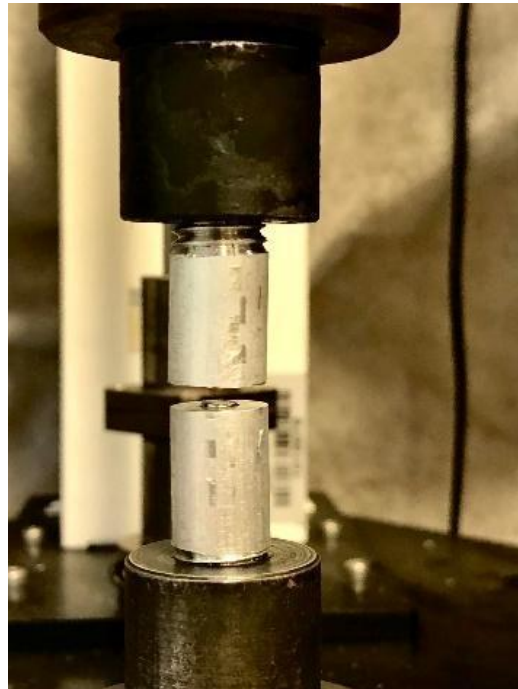
5.3.3.1 Fuerza Magnética De Tensión: Se realizó y tabuló mediante los siguientes parámetros.

- Medición de fuerza magnética por tensión/ atracción magnética.
- Unidad de medida (gr/f)

- Medida de separación inicio de prueba 8 mm
- Disminución secuencial separación de magnetos 0.5 mm
- Medición de magnitud de fuerza magnética de compresión cada 0.5 mm
- Medida de separación final de prueba 2 mm

Figura 5.

Prueba de tensión en máquina universal de ensayos Shimadzu®



5.3.3.2 Fuerza Magnética De Compresión:

- Medición de fuerza magnética por compresión/ repulsión.
- Unidad de medida (gr/f)
- Medida de separación inicio de prueba 2 mm
- Disminución secuencial separación de magnetos 0.5 mm

- Medición de magnitud de fuerza magnética de compresión cada 0.5 mm
- Medida de separación final de prueba 8 mm

Figura 6.

Prueba de compresión en máquina universal de ensayos Shimadzu®



Con estas mediciones de fuerza el software de la Máquina Universal de Ensayos generó una recopilación de datos, agrupados en tres tipos de variables o mediciones, las cuales son: Tiempo (Segundos), Fuerza (gramos), Deslizamiento- distancia (milímetros) para cada uno de los grupos en los que se realizó la prueba.

5.3.4 Aspectos Éticos De La Investigación

Las consideraciones éticas en Colombia están basadas conforme a la resolución número 8430 de 1993, Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. En el caso de esta investigación esta resolución no tiene implicaciones por lo que no se realizarán estudios en humanos, ni en animales. Según el artículo 11 este estudio está libre de todo riesgo y afecciones éticas a terceros.

6.Resultados

6.1 Prueba De Atracción

Se utilizaron 3 Magnetos de 4mm, 5mm y 6mm la fuerza para la prueba de compresión en la aleación de Neodimio fue aumentando a medida que aumentaba la

distancia entre estos. A una distancia de 1-2 mm con magnetos de 4 mm la media fue desde 3,1 g/f \pm 2,5 hasta 28,6 g/f \pm 5,5 a 6 mm, para el magneto de 6mm la media aumentó a una distancia de 0-1mm una fuerza media generada de 12,2 g/f \pm 2,4 a 89,2 g/f \pm 13,4 a 6mm de distancia (ver tabla 1). En los magnetos de Sm Co se aplicó la misma prueba encontrado aumentos igualmente en la media de la fuerza generada a una distancia de 1-2 mm con magnetos de 4 mm la media fue desde 6,8 g/f \pm 2,4 hasta 34,5 g/f \pm 5,2 a 6 mm, para el magneto de 6mm la media aumentó a una distancia de 0-1mm una fuerza media generada de 15,4 g/f g/f \pm 2,6 a 82,6 g/f g/f \pm 9.8 a 6mm de distancia (Ver tabla 2).

Tabla 1.

Media y desviación estándar en prueba de compresión con magnetos de Neodimio

Grosor Magnetos	4mm		5 mm		6 mm	
	Media	D.S	Media	D.S	Media	D.S
0- 1 mm	3,1 g/f	2,5	12,0 g/f	2,9	12,2 g/f	2,4
1-2 mm	3,1 g/f	2,5	15,7 g/f	2,8	15,6 g/f	3,4
2-3 mm	2,8 g/f	2,5	23,0 g/f	3,3	22,8 g/f	4,1
3- 4 mm	8,0 g/f	3,0	33,2 g/f	4,1	35,2 g/f	5,2
4-5 mm	15,9 g/f	3,5	51,7 g/f	8,1	55,9 g/f	6,8
5-6 mm	28,6 g/f	5,5	86,9 g/f	14,3	89,2 g/f	13,4

Nota: g/f: unidad de medida gramo/fuerza, D.S: Desviación estándar.

Tabla 2.

Media y desviación estándar en prueba de compresión con magnetos de Samario Cobalto

Grosor Magnetos	4mm		5 mm		6 mm	
	Media	D.S	Media	D.S	Media	D.S
0- 1 mm	5,1 g/f	2,9	9,2 g/f	2,8	15,4 g/f	2,6
1-2 mm	6,8 g/f	2,4	9,8 g/f	2,7	20,5 g/f	2,4

2-3 mm	9,3 g/f	2,6	14,8 g/f	3,3	24,2 g/f	3,2
3- 4 mm	12,9 g/f	3,0	23,0 g/f	2,9	36,2 g/f	4,2
4-5 mm	21,4 g/f	4,2	37,0 g/f	6,7	54,3 g/f	6,9
5-6 mm	34,5 g/f	5,2	61,1 g/f	9,7	82,6 g/f	9,8

Nota: g/f: unidad de medida gramo/fuerza, D.S: Desviación estándar.

6.2 Prueba De Atracción

Fue realizada en ambas aleaciones Neodimio y Samario Cobalto en diámetros de 4mm,5mm, y 6 mm. Se observó para ambos experimentos una disminución de la media a la fuerza generada con el aumento de la distancia entre ambos imanes. Presentando para los magnetos de Neodimio grosor de 4mm una media de 32,2 g/f \pm 4.8 a una distancia de 1-2mm; Frente los magnetos de 5mm presentando una media 41,2 g/f \pm 6,5. A una distancia de 5-6mm con magnetos de 6mm la media generada fue de 19,2 g/f \pm 2.8 (Ver tabla 3). En la prueba con la aleación de Samario Cobalto grosor de 4mm una media de 21,5 g/f \pm 4.7 a una distancia de 1-2mm; Frente los magnetos de 5mm presentando una media 61,2 g/f \pm 9,0. Para los magnetos de 6 mm a una distancia de 5-6 mm la media de fuerza generada fue de 14,9 g/f \pm 2,8 (ver tabla 4).

Tabla 3.

Media y desviación estándar en prueba de tensión con magnetos de Neodimio.

Grosor Magnetos	4mm		5 mm		6 mm	
	Media	D.S	Media	D.S	Media	D.S
0- 1 mm	51,7 g/f	8,2	73,1 g/f	12,6	124,5 g/f	18,9

1-2 mm	32,2 g/f	4,8	41,2 g/f	6,5	76,9 g/f	9,2
2-3 mm	21,5 g/f	3,4	25,4 g/f	4,1	50,7 g/f	8,0
3- 4 mm	16,0 g/f	2,4	17,8 g/f	3,4	34,1 g/f	3,5
4-5 mm	15,2 g/f	2,3	12,0 g/f	2,6	24,8 g/f	3,4
5-6 mm	14,1 g/f	2,4	9,9 g/f	3,4	19,2 g/f	2,8

Nota: g/f: unidad de medida gramo/fuerza, D.S: Desviación estándar.

Tabla 4.

Media y desviación estándar en prueba de tensión con magnetos de Samario Cobalto.

Grosor Magnetos	4mm		5 mm		6 mm	
	Media	D.S	Media	D.S	Media	D.S
0- 1 mm	39,7 g/f	8,1	102,9 g/f	17,6	114,0 g/f	17,8
1-2 mm	21,5 g/f	4,7	61,2 g/f	9,0	68,9 g/f	9,6
2-3 mm	12,1 g/f	3,2	36,7 g/f	6,5	43,4 g/f	6,8
3- 4 mm	6,9 g/f	3,1	23,2 g/f	3,2	28,6 g/f	4,0
4-5 mm	2,2 g/f	2,9	15,2 g/f	3,3	20,5 g/f	2,8
5-6 mm	0,5 g/f	2,5	10,8 g/f	2,9	14,9 g/f	2,8

Nota: g/f: unidad de medida gramo/fuerza, D.S: Desviación estándar.

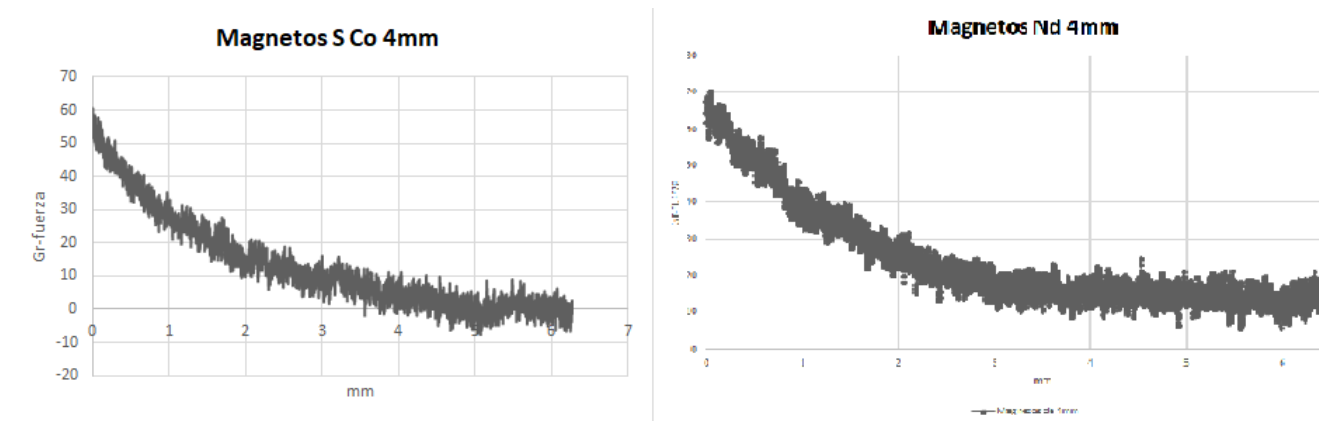
6.3 Análisis Gráfico De Resultados: Medición De Fuerza Magnética Versus

Desplazamiento De Los Magnetos

6.3.1 Prueba Tensión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 4 Mm

Figura 7.

Gráfica de comparación que muestra la correlación distancia (eje X) fuerza Tensión (eje Y) entre los dos tipos de aleaciones S Co y Nd



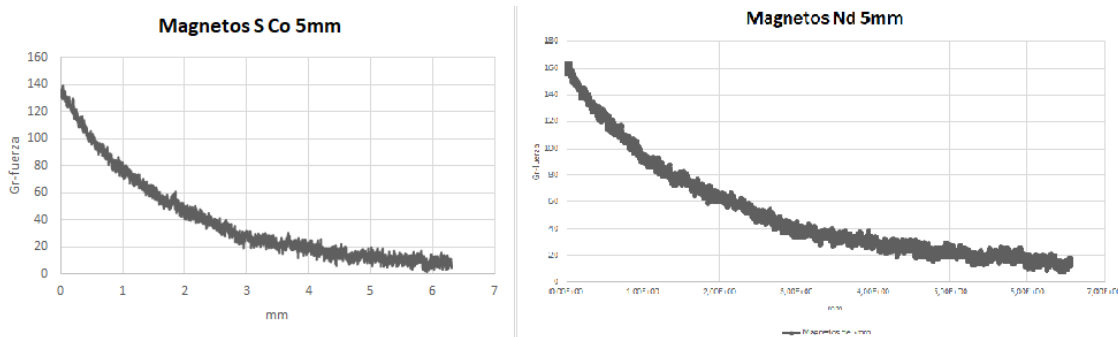
*** S Co: Samario Cobalto, Nd: Neodimio

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a los magnetos de 4 mm de Nd, mostraron que cuando teníamos 2-3 milímetros de cierre obtuvimos 21.5 gramos/fuerza (g/f) frente a 12.1 gramos/fuerza (g/f) en los magnetos de S Co. A una distancia de 6 mm obtuvimos degradación de la fuerza en ambos grupos; en los magnetos de Nd 14.1 g/f y en los magnetos de S Co 0.5 g/f deslizamiento.

6.3.2 Prueba Tensión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 5 Mm

Figura 8.

Gráfica de comparación que muestra la correlación distancia (eje X) fuerza Tensión (eje Y) entre los dos tipos de aleaciones S Co y Nd



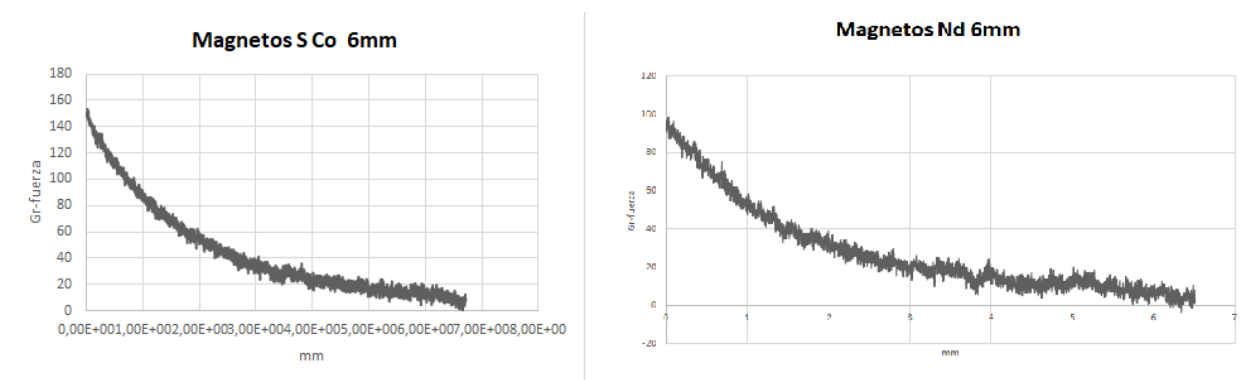
*** S Co: Samario Cobalto, Nd: Neodimio

Las pruebas realizadas a los magnetos de 5 mm de Nd, mostraron que cuando teníamos 1-2 milímetros de cierre obtuvimos 41,2 gramos/fuerza (g/f) frente a 61,2 gramos/fuerza (g/f) en los magnetos de S Co. A una distancia de 5-6 mm obtuvimos degradación de la fuerza en ambos grupos; en los magnetos de Nd 9,9 g/f y en los magnetos de S Co 10,8 g/f deslizamiento.

6.3.3 Prueba Tensión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 6 Mm

Figura 9.

Gráfica de comparación que muestra la correlación distancia (eje X) fuerza Tensión (eje Y) entre los dos tipos de aleaciones S Co y Nd



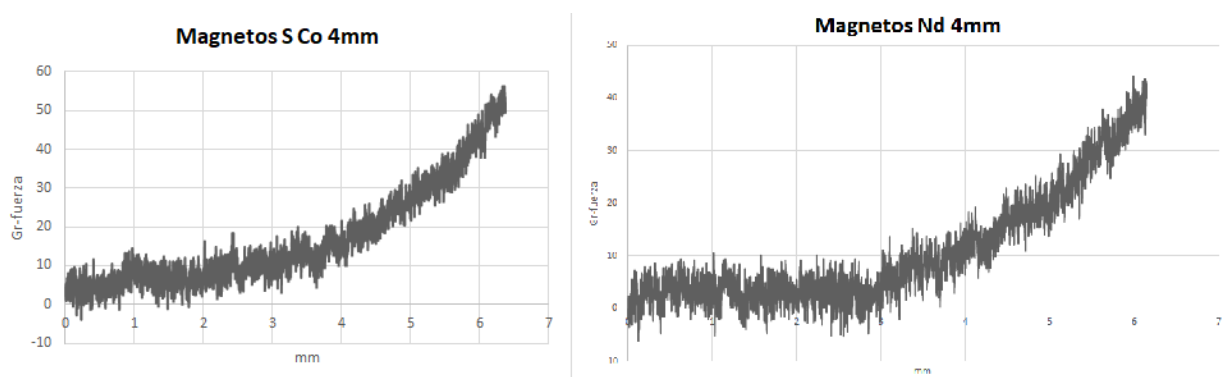
*** S Co: Samario Cobalto, Nd: Neodimio

Los magnetos de 6 mm de Nd, mostraron que cuando teníamos 1-2 milímetros de cierre obtuvimos 76.9 gramos/fuerza (g/f) frente a 68.9 gramos/fuerza (g/f) en los magnetos de S Co. A una distancia de 5-6 mm obtuvimos degradación de la fuerza en ambos grupos; en los magnetos de Nd 19.2 g/f y en los magnetos de S Co 14.9 g/f deslizamiento.

6.3.4 Prueba Compresión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 4 Mm

Figura 10.

Gráfica de comparación que muestra la correlación distancia (eje X) fuerza Compresión (eje Y) entre los dos tipos de aleaciones S Co y Nd



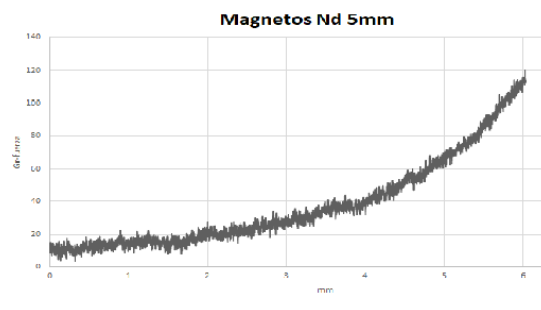
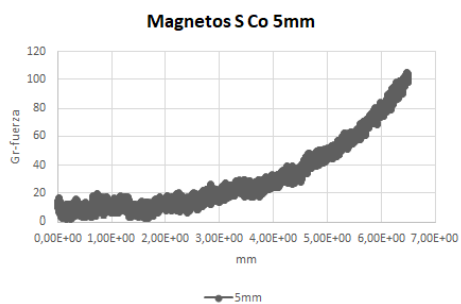
*** S Co: Samario Cobalto, Nd: Neodimio

Para la medición de los magnetos de 4 mm de Nd, mostraron que cuando teníamos 1-2 milímetros de distancia obtuvimos 3,1 gramos/fuerza (g/f) frente a 6,8 gramos/fuerza (g/f) en los magnetos de S Co. A una distancia de 5-6 mm obtuvimos aumento de la fuerza en ambos grupos; en los magnetos de Nd 28,6g/f y en los magnetos de S Co 34,5g/f.

6.3.5 Prueba Compresión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 5 Mm

Figura 11.

Gráfica de comparación que muestra la correlación distancia (eje X) fuerza Compresión (eje Y) entre los dos tipos de aleaciones S Co y Nd



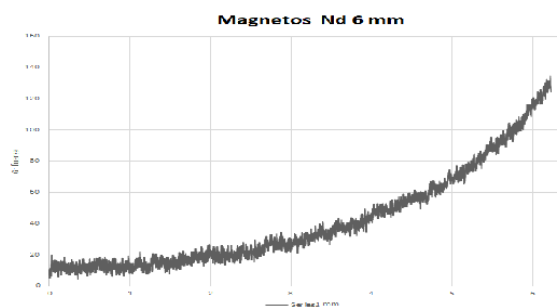
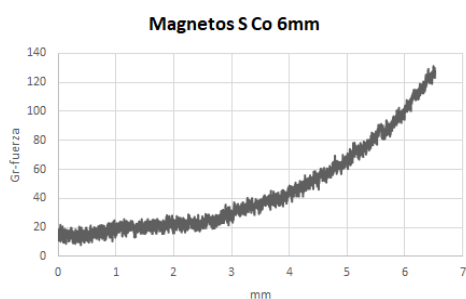
*** S Co: Samario Cobalto, Nd: Neodimio

Los resultados obtenidos de las pruebas de compresión realizadas a los magnetos de 5 mm de Nd, mostraron que cuando teníamos 1-2 milímetros de distancia obtuvimos 15,7 gramos/fuerza (g/f) frente a 9,8 gramos/fuerza (g/f) en los magnetos de S Co. A una distancia de 5-6 mm obtuvimos aumento de la fuerza en ambos grupos; en los magnetos de Nd 86,9 /f y en los magnetos de S Co 61,1 /f.

6.3.6 Prueba Compresión Magnetos Neodimio Y Samario Cobalto 6 Mm

Figura 12.

Gráfica de comparación que muestra la correlación distancia (eje X) fuerza Compresión (eje Y) entre los dos tipos de aleaciones S Co y Nd



*** S Co: Samario Cobalto, Nd: Neodimio

Los magnetos de 6 mm de Nd, mostraron que cuando teníamos 1-2 milímetros de distancia obtuvimos 15,6 gramos/fuerza (g/f) frente a 20,5 gramos/fuerza (g/f) en los magnetos de S Co. A una distancia de 5-6 mm obtuvimos aumento de la fuerza en ambos grupos; en los magnetos de Nd 89,2/f y en los magnetos de S Co 82,6 g/f.

7. Discusión

Muchos sistemas ortodónticos han sido fabricados con el fin de producir biomecánicas efectivas en el movimiento dental, eso se compara con la efectividad en el tiempo para poder generar estas fuerzas y que estas sean constantes dentro de esta misma

variable. La fuerza magnética nos abre una ventana novedosa por la cual pueden generar fuerzas de tensión y compresión estables que puedan ser usadas en un sistema de movimiento ortodóntico.

Como se sabe en la ortodoncia convencional los sistemas utilizados generan biomecánicas a través de dispositivos auxiliares como cadenas, elásticos, resortes los cuales pierden su fuerza horas después de su colocación, esto está reportado en la literatura claramente. Con la implementación de magnetos esta fuerza sería constante y la degradación de la fuerza dependería de otros factores los cuales deben ser investigados como: efectos de la saliva (corrosión de los magnetos), efectos galvánicos por restauraciones en amalgama, el material de los soportes o brackets para los cuales sugerimos sean paramagnéticos.

Las fuerzas de tensión y compresión magnética en ambas aleaciones generaron altas densidades de flujo magnético en relación al pequeño tamaño de los magnetos; las cuales podrían ser implementadas en dispositivos ortodónticos y ortopédicos para el movimiento dental en la presente investigación se tuvo en cuenta movimientos de mesialización y distalización o de compresión y tensión

Teniendo en cuenta el comportamiento de la fuerza magnética al no degradarse como las fuerzas elásticas convencionales utilizadas en ortodoncia, los magnetos ofrecen fuerzas que pueden llevarse a boca y ser usadas para movimientos de mesialización y distalización; Los magnetos de Nd 6mm de diámetro a una distancia de 1-2mm generaron una Fuerza de tensión de 76.9 g/f frente a 68.9 g/f de los magnetos 6mm de S Co.

En cuanto a las fuerzas aplicadas a ortodoncia estas no deben superar los 250gr/f y ninguna de las dos pruebas con las aleaciones y diámetros seleccionados fueron superados.

Lo cual permitirá su inclusión en sistemas de movimiento ortodóntico generando además características necesarias como lo son: constancia en la fuerza generada, fuerza fisiológica para el periodonto y la no necesidad de cooperación del paciente para ser activadas.

Cabe destacar que la degradación de la fuerza depende de la distancia y el diámetro del magneto, mostrando mejores propiedades los de 6mm de grosor en ambas aleaciones. En la prueba de compresión la mayor cantidad de fuerza generada fue en los imanes de Neodimio a medida que aumentaba la distancia entre los dispositivos; para la prueba de tensión la fuerza fue degradándose a medida que aumentaba la distancia entre los magnetos los que conservaron mejor su fuerza resultante fueron los magnetos de Neodimio versus Samario Cobalto.

La elección del dispositivo magnético debe analizarse con base en otros factores como su facilidad de consecución en el mercado, el tipo de aleación, el diámetro de acuerdo a la fuerza que se quiere generar e investigar el movimiento dental u ortopédico, inclusive en Rehabilitación oral. Estos estudios deben ser realizados con el mismo aparato de medición la Máquina Universal de ensayos utilizada en el presente estudio y siguiendo el diseño metodológico para minimizar la posibilidad de sesgo y estandarizar los resultados obtenidos.

Este estudio presenta resultados comparativos y determinantes para los ortodoncistas sobre las fuerzas magnéticas y su efectividad en movimientos dentales; los cuales puedan ser usados para generar biomecánicas controladas y fuerzas constantes que los sistemas convencionales.

Pueden ser útiles en otras áreas de la odontología como su implementación en rehabilitación oral, aparatología ortopédica mediante bandas magnéticas añadidas las cuales permitan deslizamiento mandibular, extrusión o expansión mediante la compresión de estos, el presente estudio los magnetos de neodimio a una distancia de 1 mm para la prueba de tensión, los resultados generados fueron de $124,5 \text{ g/f} \pm 18,9$ versus $114 \text{ g/f} \pm 17,8$ en los magnetos de Samario Cobalto, fuerzas ortopédicas generadas; Su elección o generación de más o menos fuerza ya depende de otros factores mencionados anteriormente.

Conclusiones

La diferencia en los diferentes diámetros de los magnetos demostró mayor generación de fuerza tensión en los magnetos de 6mm de Neodimio, la fuerza disminuyó a

medida que se separaban los magnetos. Para la prueba de compresión el fenómeno fue inverso, la fuerza generada fue mayor con el distanciamiento de los imanes, siendo la más elevada con los magnetos de 6 mm. La degradación o aumento de la fuerza depende de la distancia a la que estuvieran.

La fuerza para las magnetos de 4 mm, en la prueba de compresión fue efectiva (generan más de 10 gr fuerza) a partir de los 4mm a 0mm y tensión, desde los 3 mm a 6mm; estos dispositivos magnéticos pueden ser recomendados para los movimientos ortodónticos, debido a que mantienen o incrementan la fuerza generada.

Los diferentes magnetos utilizados en este experimento demostraron la generación de magnitudes de fuerzas que pueden ser utilizadas, no solo en ortodoncia sino en ortopedia. Es importante llevar a cabo futuras investigaciones en el campo magnético donde el slot del Brackets, las aleaciones de los alambres no degraden la fuerza del imán y conlleven a una pérdida de la dirección de la fuerza que se quiera aplicar.

Recomendaciones

Evaluar la posibilidad de incorporar nuevos magnetos de otras aleaciones, diámetros y formas, que puedan presentar mayor efectividad y mejor comportamiento en la generación de fuerzas magnéticas.

Los ensayos posteriores de medición de fuerza magnética que se realicen después de esta investigación se deben realizar con el mismo instrumento de medición de este estudio la Máquina Universal de Ensayos, al igual que la fabricación de los soportes en aluminio los cuales disminuyen el sesgo en los resultados, de manera que se puedan establecer datos y estandarizar los resultados de los diferentes estudios.

Crear líneas de investigación encaminadas a generar un aumento en el conocimiento de los campos magnéticos aplicados a la biomecánica ortodóntica junto con la realización de estudios de biocompatibilidad de los sistemas magnéticos.

Simulación de situaciones clínicas en donde pueda ser aplicado el aditamento magnético para generar movimiento dental ortodóntico, teniendo en cuenta los diferentes calibres y aleaciones de los arcos ortodónticos más utilizados en la práctica diaria y ver que comportamiento tienen ante fuerzas magnéticas.

Bibliografía

Kim, K. H., Chung, C. H., Choy, K., Lee, J. S., & Vanarsdall, R. L. (2005). Effects of prestretching on force degradation of synthetic elastomeric chains. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 128(4), 477-482.

- Noar, J. H., & Evans, R. D. (2014). Rare earth magnets in orthodontics: an overview. *British journal of orthodontics*.
- Blechman, A., & Pescatore, E. A. (1986). *U.S. Patent No. 4,595,361*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office
- Muller, M. (1984). The use of magnets in orthodontics: an alternative means to produce tooth movement. *European journal of orthodontics*, 6(4), 247-253.
- Hwang, H. S., & Lee, K. H. (2001). Intrusion of overerupted molars by corticotomy and magnets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 120(2), 209-216.
- Tomizuka, R., Kanetaka, H., Shimizu, Y., Suzuki, A., Igarashi, K., & Mitani, H. (2006). Effects of gradually increasing force generated by permanent rare earth magnets for orthodontic tooth movement. *The Angle Orthodontist*, 76(6), 1004-1009.
- Linder-Aronson, A., Lindskog, S., & Rygh, P. (1992). Orthodontic magnets: effects on gingival epithelium and alveolar bone in monkeys. *The European Journal of Orthodontics*, 14(4), 255-272.
- Bondemark, L., & Kurol, J. (1992). Distalization of maxillary first and second molars simultaneously with repelling magnets. *The European Journal of Orthodontics*, 14(4), 264-272.
- Kiliaridis, S., Egermark, I., & Thilander, B. (1990). Anterior open bite treatment with magnets. *The European Journal of Orthodontics*, 12(4), 447-457.
- Echeverría García José Javier. El manual de Odontología. Editorial Masson, Barcelona – España. 2002. Pág. 1244 – 1245

- Bondemark L. Kurol J. Distalization of maxillary first and second molar simultaneously with repelling magnets. Eur J Orthod 1992. Vol 14. Pág 264 – 72. (213)
- Blechman. Magnetic force systems in orthodontics. Am J Orthod. 1985. Vol 87. Pág 201 - 210.
- Joseph H. Noar, Robert D. Evans. Rare earth magnets in orthodontics: an overview. British Journal of Orthodontics. Vol. 26:1999; 29 – 37
- Gonzalo Alonso Uribe Restrepo. Ortodoncia Teoría y Clínica. 2ª. Edición. Pág. 62, 349
- Stark T.M, Sinclair P.M: Effect of pulsed electromagnetic field on orthodontic tooth movement. Am j Orthod 1987. Vol 91. Pág 91 – 104
- Darendeliler M.A, Sinclair P.M, Kusy R.P: The effects of samarium-cobalt magnets and pulser electromagnetic fields on tooth movement. Am J Orthod 1995. Vol. 107. Pág 578-88.
- Lars Bondemark, Juri Kurol and Ake Larsson. Long-term effects of ortodontic magnets on human buccal mucosa – a clinical, histological and immunohistochemical study. European Journal of Oorthodontics- Vol 20 (1998). Pág 211-218.
- Lars Bondemark, DDS, Odont dr; Juri Kurol, DD, Odont dr. Proximal alveolar bone level after orthodontic treatment with magnets, superelastics coils and straight-wire appliance. Angle Orthod 1997. Vol 67(1). Pág 7-14
- Von Fraunhofer, P.W. Bonds, D.E. Johnson. Force generation by orthodontic samarium-cobalt magnets. The Angle Orthodontist. Vol. 62 No. 3. 1992. Pág 191 – 194.
- Kawata, Terushige et al. A new orthodontic force system of magnetic brackets. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 1987 , Volume 92 , Issue 3 , 241 - 248

