

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

POSGRADO DE ORTODONCIA

**INFLUENCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE LIGADO EN EL
MOVIMIENTO DENTARIO ORTODÓNCICO**

Trabajo especial de grado presentado ante la
ilustre universidad Central de Venezuela por
la odontólogo Elizabeth Merino Morras para
optar al título de Especialista en Ortodoncia.

Caracas, Mayo de 2006

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

POSGRADO DE ORTODONCIA

**INFLUENCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE LIGADO EN EL
MOVIMIENTO DENTARIO ORTODÓNCICO**

Autor: Od. Elizabeth Merino Morras

Tutor: Prof. Irama Rojas Dávila.

Caracas, Mayo de 2006

Aprobado en nombre de la Universidad
Central de Venezuela por el siguiente
jurado examinador:

(Coordinador) Nombre y Apellido

C.I. 4.168.969

FIRMA

Nombre y Apellido

C.I. 5.115.773

FIRMA

Nombre y Apellido

C.I. 4.793.004

FIRMA

Observaciones: _____

Caracas, Mayo de 2006

DEDICATORIA

A mis padres, quienes fueron mi primera buena noticia, dedico cada uno de mis logros por el apoyo y amor incondicional que me han dado en cada paso del camino.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen, por sentir su presencia en cada momento de mi vida.

A todos y cada uno de mis profesores del postgrado de Ortodoncia, que con amor, dedicación y sabiduría supieron guiarme en estos años de estudios.

A mi tutora la Dra. Irama Rojas, por su dedicación en la realización de este trabajo, y ser siempre un apoyo incondicional.

A el Dr. Raúl Ulloa, la Dra. Zayda Santiago y a la Dra. Amanda Allup, quienes me dieron la oportunidad de conocer este maravilloso mundo de la Ortodonciamuchas gracias.

A mi padrino el Dr. Guillermo Mazzei, gracias por su sabiduría y ejemplo.

A mis queridos amigos del postgrado, por el apoyo, las risas, y los buenos momentos que compartimos.

A toda mi familia, padres, hermanos, primos, amigos, y todos los que han sido parte de la culminación de este proyecto.

A ti morocha gracias, esto también es tuyo.

LISTA DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de cuadros.....	x
Resumen.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III. CONCEPTOS BÁSICOS.....	13
IV. MOVIMIENTO DENTARIO Y FRICCIÓN.....	20
V. DISCUSIÓN.....	68
VI. CONCLUSIONES.....	72
VII. REFERENCIAS.....	74

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Análisis de la fricción por Da Vinci.....	6
Figura2 Diagrama de fricción	13
Figura 3 Área real y aparente de fricción.....	16
Figura 4 Mecánica deslizante por medio de asas.....	19
Figura 5 Mecánica deslizante por medio de arco continuo.....	19
Figura 6 Prototipo de Bracket de arco canto.....	25
Figura 7 Bracket gemelo.....	26
Figura 8 Tipos de brackets.....	26
Figura 9 Diferentes ancho de brackets.....	27
Figura 10 Superficie de brackets de acero inoxidable por sinterizado y por colado.....	32
Figura 11 Ranuras de brackets metálico y cerámico.....	33
Figura 12 Bracket Mystique y Clarity.....	34
Figura 13 Características superficiales de diferentes arcos.....	39
Figura 14 Ligadura metálica.....	42
Figura 15 Ligaduras elastoméricas.....	44
Figura 16 Pérdida de elasticidad de elastoméricas.....	45
Figura 17 Formas de ligado.....	47
Figura 18 Ligadura Super Slick.....	49
Figura 19 Ligadura Slide.....	52

Figura 20	Ligadura Slide vs Ligadura convencional.....	53
Figura 21	Bracket Synergy.....	55
Figura 22	Ligado cero fricción.....	56
Figura 23	Ligado convencional en O.....	56
Figura 24	Diferentes formas de ligado.....	57
Figura 25	Bracket Delta Force.....	57
Figura 26	Modalidad de ligado Bracket Delta Force.....	58
Figura 27	Influencia de las ligaduras sobre fricción.....	59
Figura 28	Bracket autoligado activo.....	61
Figura 29	Bracket autoligado pasivo.....	61
Figura 30	Russel Lock.....	62
Figura 31	Bracket Edge Lock	62
Figura 32	Bracket Damon I.....	63
Figura 33	Bracket Ovation.....	63

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Variables consideradas en estudios de fricción.....	10
Cuadro 2 Factores que determinan la fricción.....	23
Cuadro 3 Comparación de fricción entre alambres de ortodoncia	40
Cuadro 4 Resumen comparativo entre variables que afectan la fricción.....	71

RESUMEN

Durante el tratamiento ortodóncico, se presentan muchos factores que intervienen en el movimiento dentario, uno de ellos es la fricción, la cual es una fuerza que actúa en sentido contrario a la carga aplicada y que se opone al movimiento deseado, trayendo como consecuencia la utilización de fuerzas más pesadas, pérdida de anclaje y prolongación del tiempo de tratamiento entre otros. La fricción en ortodoncia es un fenómeno de naturaleza multifactorial, por lo que resulta complicado identificar los factores que la determinan en una situación clínica. A través de los años, diferentes técnicas, aleaciones, y materiales han surgido como mecanismo de control de la fricción, por lo que es necesario el conocimiento y entendimiento de la misma por parte del ortodoncista, para la optimización del tratamiento, a través de un movimiento fisiológico.

I. INTRODUCCIÓN

Durante el tratamiento ortodóncico, intervienen numerosos factores que pueden afectar el movimiento dentario y uno de ellos resulta ser la fricción, la cual es definida como la fuerza que actúa en sentido contrario a la carga aplicada y se opone al movimiento deseado, de tal forma que su capacidad para retardar o impedir el movimiento dentario, hace necesario que se aumente la magnitud de la carga, pudiendo producirse en consecuencia, lesiones periodontales, molestias al paciente y aumento del tiempo de tratamiento

El fenómeno de la fricción es de naturaleza multifactorial, y desde los años '70, la literatura ha reportado numerosos estudios en los que se evalúa diferentes variables tanto físicas como biológicas, que puede afectar los niveles de fricción en la interfase arco, bracket, y ligadura. Los resultado de esas investigaciones han arrojando en la mayoría de los casos, conclusiones contradictorias, por lo que resulta difícil determinar cual es la causa o causas de la fricción en una situación clínica determinada.

El desarrollo de nuevos brackets y técnicas de baja fricción, así como el surgimiento los sistemas autoligados, ha

revolucionado el panorama de la práctica ortodóncica actual, de tal forma que la literatura en los últimos años, evidencia un mayor interés en determinar con profundidad el impacto de la fricción.

La principal motivación para la realización del presente trabajo es precisamente la controversia planteada en la literatura actualizada en relación a la naturaleza multifactorial del fenómeno de fricción en Ortodoncia, así como también la aparición de los sistemas de brackets y de ligaduras tendientes a mejorar la fricción, haciendo que se produzca un movimiento dentario más fisiológico.

El material obtenido a través de la revisión de la literatura especializada, se ordenó de forma tal que permite destacar el papel de la fricción en el movimiento dentario ortodóncico, así como también la influencia que tiene sobre la misma, diferentes variables tales como las características de los arcos, brackets y ligaduras, así como también los sistemas de baja fricción muy usados en la mecánica ortodóncica actual, de tal forma esta revisión pretende ser material de apoyo y consulta para ortodoncistas y estudiantes de postgrado interesados en el tema.

Considerando que la fricción constituye un factor altamente relacionado al movimiento ortodóncico, el objetivo general del presente trabajo es analizar el efecto de la fricción y sus variables en el movimiento dentario ortodóncico.

II. ANTECEDENTES

El tratamiento ortodóncico tiene como objetivo fundamental la ubicación de la dentición en posiciones nuevas y favorables en armonía con la función y la estética facial, sin detrimento de la integridad de los tejidos de soporte, como resultado de un plan basado en principios mecánicos adecuados en el diseño de la aparatología, la comprensión de las características biomecánicas de las aleaciones y los materiales, y el conocimiento detallado de la biología del movimiento dentario. Es por esto que el tratamiento ortodóncico depende en gran parte de la habilidad del clínico en usar mecánicas con fuerzas controladas para estimular una respuesta biológica adecuada.^{1,2,3}

En algunas mecánicas empleadas durante la terapia ortodóncica los dientes se mueven a lo largo del arco de alambre, siendo la fricción la fuerza que se opone a este movimiento, resultando ser un factor determinante en la eficiencia del tratamiento, ya que entre otros efectos produce un movimiento más lento, contribuye a la pérdida de anclaje y por lo tanto, prolonga el tiempo de tratamiento.^{4,5,6,7}

El interés en temas relacionados con la fricción existe desde épocas remotas. Los documentos históricos muestran que dos de los inventos más significativos del hombre primitivo están relacionados con la fricción: él aprendió a usar el calentamiento por fricción para iniciar sus fuegos de cocina y descubrió que la fricción por rodamiento es mucho menor que la fricción por deslizamiento. Este segundo invento condujo al descubrimiento de la rueda aproximadamente 3500 A.C, e ilustra el interés de nuestros antepasados por reducir la fricción que se presentaba durante el transporte de grandes bloques de piedra usados para la construcción de monumentos.^{8,9,10}

Históricamente, el artista-científico renacentista Leonardo Da Vinci a mediados del siglo XV, resultó ser uno de los primeros en estudiar la fricción de manera sistemática a través del movimiento de un bloque rectangular deslizándose sobre una superficie plana. La figura 1 muestra el esquema original de Da Vinci para el análisis de la fricción.

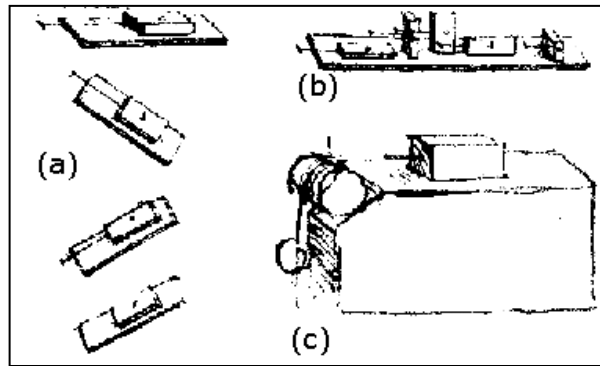


FIGURA 1 DIBUJO ORIGINAL DE DA VINCI PARA EL ANÁLISIS DE LA FRICCIÓN.
TOMADO DE HANS, 2004 ¹¹

Da Vinci definió los conceptos básicos de fricción, enunciando las leyes que la rigen hasta nuestros días: la primera ley establece que la fricción es proporcional a la fuerza, mientras que la segunda, explica que el área de contacto no afecta la fricción, es decir, la fricción es independiente del área de contacto aparente entre dos superficies que se deslizan.^{9,11,12,13}

Posteriormente, el físico francés Guillaume Amontons en 1699 citado por Nanda y Rodríguez ^{10,13} redefinió las dos leyes básicas de fricción establecidas previamente por Da Vinci, consideró que la misma, era producida por las “rugosidades” o “asperezas” de las superficies en contacto, manteniéndose este pensamiento durante muchos años.

Más adelante Charles August Coulomb citado por Linares ⁹, Rodríguez ¹⁰ y Hans¹¹, además de trabajar en el campo de la electricidad, realizó investigaciones para establecer su teoría de fricción. En 1781 presentó su trabajo titulado “*Teoría de las máquinas simples*” donde definió los tipos de fricción, y estableció la tercer ley según la cual “la fuerza de fricción es independiente de la velocidad de deslizamiento”. Coulomb publicó su trabajo haciendo referencia a las investigaciones de Amontons en 1699 y es por esto que esta ley es conocida como la Ley de Amontons-Coulomb.^{10,13}

Muchos otros descubrimientos ocurrieron a lo largo de la historia, y científicos como John Theophilus Desagulier, Roberto Hooke, Isaac Newton entre otros, aportaron conocimientos importantes relacionados con la fricción, lubricación y el movimiento de los cuerpos.^{9,10}

De acuerdo a lo referido por Linares⁹ y Rodríguez¹⁰ las investigaciones realizadas por I-Ming Fen, Bowden y Tabor, Rabinowics, Czichos, Schallamach entre otros, dieron como resultado el enunciado de teorías basadas en la fricción y el desgaste presente durante el funcionamiento de las máquinas.

En 1950, Bowden y Tabor dieron su explicación física de las mencionadas leyes, creando un modelo de fricción que permitió el cálculo del coeficiente de la misma. El modelo Bowden-Tabor fue una extensión de la *“Teoría de las asperezas en contacto”* que se originó alrededor de 1930, para explicar que el área real de contacto, formado por las asperezas de las superficies en contacto, representa solo un pequeño porcentaje del área aparente o total de contacto, de tal manera, que en la medida en que la fuerza aumenta, el porcentaje de contacto de las asperezas también aumenta, siendo la fricción dependiente de esa área real de contacto, es decir directamente proporcional a las asperezas.^{8,10,11,12}

Posteriormente, con el paso de los años, surge la **tribología** como la disciplina científica encargada de estudiar la interacción de las superficies en contacto, abarcando además de la fricción, el desgaste y la lubricación. Se deriva del término griego **“tribos”**, el cual puede entenderse como “frotamiento o rozamiento”, por lo que su traducción literal es “la ciencia del frotamiento”.^{9,10,12}

En la actualidad, los estudios están dirigidos a la investigación de la fricción a escala atómica por medio de la invención del

Microscopio de Fuerza Atómica (AFM) en el año 1986, permitiendo así, tener un conocimiento más profundo del fenómeno de la fricción y sus efectos sobre los cuerpos.^{9,14}

En el campo de la ortodoncia, la literatura^{15,16,17,18,119,20,21,22} ha reportado numerosas investigaciones relacionados con el estudio de la fricción que se produce entre los componentes del sistema arco, bracket y ligadura, conocido con las siglas ABL. Ya desde 1970, con el estudio de Andreasen y Quevedo citado por Nanda¹³ se han publicado numerosos artículos, reportando las diferentes variables tanto físicas como biológicas que pueden afectar la fricción por lo que resulta difícil determinarlas en una situación clínica en la que se ha comprobado que actúan de forma multifactorial, tal como se muestra en el cuadro 1¹³, el cual presenta en forma resumida y por orden cronológico algunos trabajos sobre fricción desde el año 1963 hasta el 2006.

Cuadro 1 Tomado y modificado de Nanda.¹³

Variables consideradas en los estudios más importantes sobre fricción en sistemas ortodónticos deslizantes

Autor/ Año	Ligaduras	Diseño de ligado	Saliva	Dimens Ranura	Ancho Bracket	Material Alambre	Material Bracket	Dimensión Alambre	Aspereza Superficie	Carga Aplicada	Angulación	Diseño Bracket
Buck y col. 1963				X	X			X			X	
Andrease y Quevedo 1970			X		X			X			X	
Echols 1975	X							X				
Creekmore 1976								X				X
Greenberg y Kusy 1979									X			
Feeney y col. 1979					X							
Riley y col. 1979	X						X	X				
Frank y Nicolai, 1980	X				X	X		X			X	X
Peterson y col. 1982					X	X		X			X	
Standard y col. 1986	X		X			X				X		
Garner y col. 1986						X		X				
Baker y col. 1987			X					X				
Kusy y Whitley 1988								X				
Kusy y col 1988						X	X					
Drescher y col. 1989					X	X		X		X	X	
Kusy y Whitley, 1989							X					
Tidy 1989				X	X	X		X		X		
Angolkar y col. 1990				X			X	X	X			
Berger, 1990	X				X	X						
Kapila y col. 1990				X	X	X	X	X				
Kusy y Whitley 1990				X		X	X		X			

Autor/ Año	Ligaduras	Diseño de ligado	Saliva	Dimens Ranura	Ancho Bracket	Material Alambre	Material Bracket	Dimensión Alambre	Aspereza Superficie	Carga Aplicada	Angulación	Diseño Bracket
Ireland y col. 1991	X		X			X	X	X				
Kusy y col. 1991			X	X		X	X			X		
Prososki y col. 1991						X			X			
Tanne y col. 1991							X	X	X			
Omana y col. 1992	X				X	X	X		X			
Keithy col. 1994			X				X	X				
Ogata 1991	X			X	X			X			X	
Saunders y Kusy, 1994			X			X	X				X	
Shivapuja y Berger, 1994	X		X		X	X						
Tanne y col. 1994							X	X		X		
Tselepis y col. 1994			X			X	X					
Vaughan y col. 1995				X		X		X				
Edwards y col. 1995	X		X	X								
Dowling y cols 1998	X		X									X
O' Reilly y cols. 1999								X				X
Hain y cols. 2002	X						X					X
Redlich y cols. 2003				X				X			X	
Henao, y cols. 2004			X					X				X
Khambay y cols. 2005	X					X		X				
Chimenti y cols. 2005	X											
Tecco y cols. 2005	X					X		X				X
Griffiths y cols. 2005	X		X	X			X	X				
Baccetti y cols. 2006	X						X		X			

Como se observa en el cuadro 1, las variables que pueden afectar la fricción son múltiples y a medida que van transcurriendo el tiempo, algunas de ellas toman importancia frente a otras, tal es el caso del material del bracket y del arco, que a partir de 1980 con el estudio de Frank y Nicholai¹⁵, se generó una serie de investigaciones posteriores reportadas por Nanda¹³, como las de Peterson y col, Standard y col, Kusy y Whitley, Drescher, Tidy, Angolkar y cols. como lo reporta Nanda¹³.

Uno de los factores relacionados con la fricción más estudiados en los últimos 20 años lo constituye la ligadura y el sistema de ligado desde Echols '75, Standard '86, y Berger '90 referidos por Nanda¹³, hasta Chimenti '05²¹ y Baccetti '06³⁵.

Es importante resaltar que la mayoría de los estudios usaron modelos In Vitro, y pocos In vivo por lo cual sus resultados y conclusiones fueron contradictorias.^{7, 22,13}

III. CONCEPTOS BÁSICOS

Es importante definir algunos conceptos que son básicos para el entendimiento o comprensión del siguiente trabajo, haciendo énfasis en su importancia desde el punto de vista ortodóncico.

3.1 Definición de fricción

La fricción es una fuerza tangencial que actúa en la superficie de dos cuerpos en contacto, y que se opone o resiste el movimiento de uno con respecto al otro.^{1,5,20,21,31}

En relación a la fricción durante el movimiento, algunos autores^{1,5,23,31} describen tres componentes en la fuerza total aplicada que actúa en el sistema, como se aprecia en la figura 2.

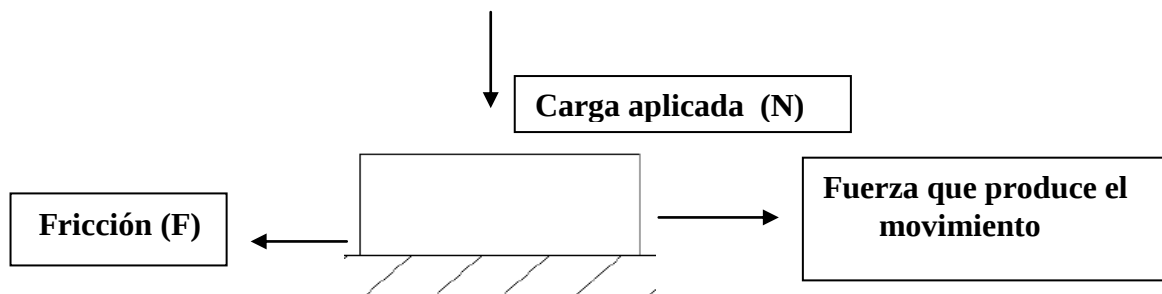


Figura 2 Diagrama de la fricción
Tomado de Mah 2002.¹

El primero es la fuerza que produce el movimiento, el segundo la fricción (F) que se opone al movimiento, siendo paralela pero en dirección contraria a la fuerza aplicada y el tercer componente es la carga (N) la cual es perpendicular a las superficies en contacto y al movimiento.^{1,5}

3.2 Tipos de Fricción

Clásicamente la ciencia física ha descrito dos tipos de la fricción que se manifiesta entre dos superficies que se encuentran en movimiento, y estas son: **la estática, y la dinámica o cinética**, cada una con su respectivo coeficiente de fricción.^{1, 5, 6, 7}

La **fricción estática**, es la fuerza mínima necesaria para iniciar el movimiento entre dos superficies, mientras que la **cinética o dinámica** es la fuerza que resiste el deslizamiento de un cuerpo sólido sobre otro a una velocidad constante.^{1, 5, 6, 7, 23,24}. Estas se manifiestan también durante el movimiento dentario. Autores como Mah ¹, Smith ⁵, O'Reilly ⁷, Chimenti ²¹, Matasa ²⁴, Ji-Hoon ²⁵, Thorstenson ²⁶ entre otros, explican que debido a que el movimiento del diente a través del arco no es continuo, sino que acontece en una serie de pequeños pasos o

saltos, la fricción estática tiene una gran importancia, ya que necesita ser superada por la fuerza aplicada cada vez que el diente se mueve un poco. Es por esto que el entendimiento y control de la fricción en el movimiento dentario, resulta ser de vital importancia para la eficiencia del sistema ortodóncico.

3.3 Leyes clásicas de la fricción

La fricción está regida por leyes que fueron enunciadas por Coulomb en 1875, posterior a los estudios de Leonardo da Vinci y Amontons, citados por Mah ¹, Smith ⁵, Nanda ¹³, O' Reilly ⁷, y Michelberg ²³, y son las leyes siguientes:

3.3.1 Primera Ley: postula que la fricción es directamente proporcional a la carga, por lo tanto la primera ley puede ser representada matemáticamente por $f=\mu N$, donde:

f= la fricción generada entre las dos superficies en contacto, la cual es proporcional a la fuerza aplicada

μ = coeficiente de fricción;

N es la carga aplicada.

Como el coeficiente de fricción es definido como la relación entre la fricción y la carga, la fricción siempre está orientada

paralela a la superficie en contacto y actuando en dirección opuesta a la fuerza aplicada.^{1,5,23} Figura 2.

3.3.2 Segunda Ley

Según esta ley la fricción es independiente del “área aparente de contacto” entre los cuerpos que se deslizan, por lo que tanto los cuerpos pequeños como los grandes tendrán el mismo coeficiente de fricción.^{1,5,10,23}

La superficie **aparente de contacto**, es el área de contacto entre las superficies que se asume como tal desde el punto de vista macroscópico, e incluye el **área real de contacto**, y aquellas áreas que aparentan estar en contacto, pero que realmente no lo están²³. Figura 3.

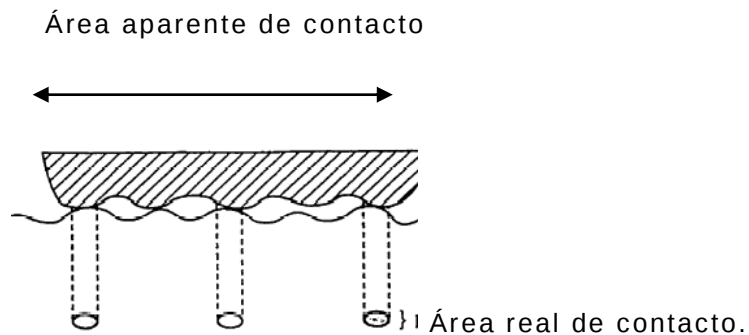


Figura 3 Segunda ley de fricción. Área real y aparente de contacto.
Tomado de Michelberger, 1999²³

Como el **área real de contacto** es proporcional a la fuerza, e independiente del área aparente de contacto entre las

superficies, la fricción será independiente del tamaño del área aparente de contacto.^{1,5,23}

3.3.3 Tercera ley

Esta explica que la fricción es independiente de la velocidad de deslizamiento (V) de los objetos en contacto. Es la denominada Ley de Coulomb.^{5,10,13,23}

3.4 Coeficiente de Fricción

La fricción comúnmente se puede describir mediante el denominado coeficiente μ , el cual es un valor numérico constante cuya magnitud varía entre 0 y 1, siendo 0 el valor que representa la mínima fricción de un cuerpo y 1 el máximo.^{1,5,8} Este cual relaciona la proporción entre la carga y la fuerza de fricción y va a depender de la naturaleza de las superficies de ambos cuerpos. De esto se desprende que la fricción es el producto del coeficiente de fricción de las superficies de contacto, y de la fuerza aplicada entre estas.^{1,5,26,27}

Thortesson y Kussy,²⁷ coinciden en que durante el tratamiento ortodóncico el **coeficiente de fricción estático** determina la cantidad de fricción que debe superarse o vencerse para iniciar el movimiento dentario, mientras que el **coeficiente**

de fricción cinética es la cantidad de fricción necesaria que se debe vencer para mantener el movimiento continuo.

3.5 Mecánica deslizante

El ortodoncista se vale de múltiples y diversas mecánicas para resolver las situaciones clínicas que se le presentan y en las que la fricción puede o no desempeñar un papel significativo; en general el movimiento dentario que involucra el cierre de espacios, se puede obtener mediante dos tipos de mecánicas.^{5,13} La primera o seccional emplea asas para el cierre de espacios, bien sea en un arco continuo o en una sección del mismo, y en este caso los dientes se desplazan por activación de las asas, sin involucrar la fricción, figura 4. El segundo tipo de mecánica implica el deslizamiento de los dientes a lo largo de un arco de alambre, por lo que la fricción sí participa o influye en esta mecánica, figura 5.^{5,13,23}

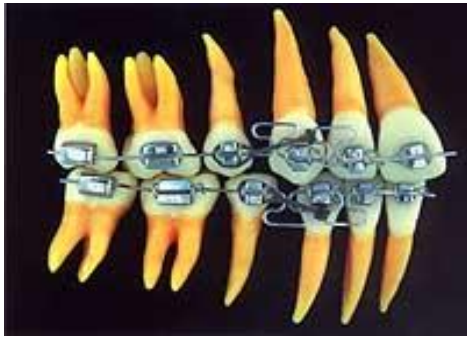


Figura 4 Mecánica deslizante por medio de asas.
Tomado de www.ledosa.com 2006²⁸



Figura 5 Mecánica deslizante por medio de arco continuo.
Tomado de www.ledosa.com 2006²⁸

En ortodoncia, la mecánica de deslizamiento normalmente es considerada en términos de cierre de espacios resultantes de extracciones y distalización de caninos pero puede aplicarse también en muchas otras etapas del movimiento dentario, tales como nivelar caninos, corregir rotaciones, alineación y nivelación en la que donde la fricción resulta ser el mayor inconveniente.^{23,29,30,31}

IV. MOVIMIENTO DENTARIO Y FRICCIÓN

A través de los años, la literatura ^{3,32} ha reportado diversas teorías que tratan de explicar la relación entre las fuerzas ortodóncicas y el movimiento dentario. Cuando se aplica la magnitud de fuerza óptima durante el tratamiento ortodóncico, se obtiene una respuesta adecuada en el periodonto y un rápido movimiento dentario, tal como lo refiere Smith⁵, Michelberger²³ y Suárez ³⁰ entre otros autores.

En este sentido, Schwartz en 1932 reportado por Nanda ¹³ propuso que las fuerzas aplicadas no debían exceder la presión de la sangre en los capilares del ligamento periodontal y ya para 1952 en los estudios de Storey y Smith ^{5,8,23} se desarrolló el concepto de **fuerza óptima** como el valor mínimo de fuerza necesario para producir el máximo desplazamiento dentario, dentro de los límites de la respuesta biológica.^{5, 13}

Para que se produzca el movimiento dentario adecuado, es necesario que dicha fuerza óptima supere la fricción, la cual está representada por el producto del coeficiente de fricción y de la sumatoria de las fuerzas que actúan en todos los planos del espacio, tal como lo reporta De Franco³³, Tecco²⁹, Smith⁵ y

Michelberger²³, de allí la importancia del control de la fricción para lograr un movimiento dentario más normal y fisiológico.

Según Thorstenson²⁷, la fricción en ortodoncia se produce principalmente cuando se liga el arco al bracket y la misma depende no sólo de la fuerza aplicada por la ligadura, sino también del material del sistema formado el arco, el bracket y la ligadura (ABL). De acuerdo a la primera ley, la fricción es directamente proporcional a la fuerza aplicada, es decir a la fuerza de ligado, aunque una parte de esta fuerza se disipa como fricción, el resto es transferido a los tejidos de soporte como estímulo para que se inicie el movimiento dentario.¹⁵

Cuando la fuerza aplicada es fuerte o pesada, se produce también un aumento de la fricción y en consecuencia una disminución del movimiento dentario ya que la proporción de fuerza aplicada que se transmite a las estructuras de soporte dentario, disminuye entre un 12% y 60% de acuerdo a Chimenti,²¹ Smith,⁵ también se pueden producir otros efectos negativos como sería el aumento del tiempo de tratamiento ortodóncico y la pérdida de anclaje durante el mismo, coincidiendo en este planteamiento autores como Sacerdoti³⁴ y Smith⁵ aunque en otros casos, el aumento de la fricción, puede

favorecer el mantenimiento del anclaje al impedir el movimiento de las unidades reactivas y en esto están de acuerdo de anclaje, según Thortenson,^{26,27} Dowling,²⁰ Baccetti³⁵ y Suárez.³⁰

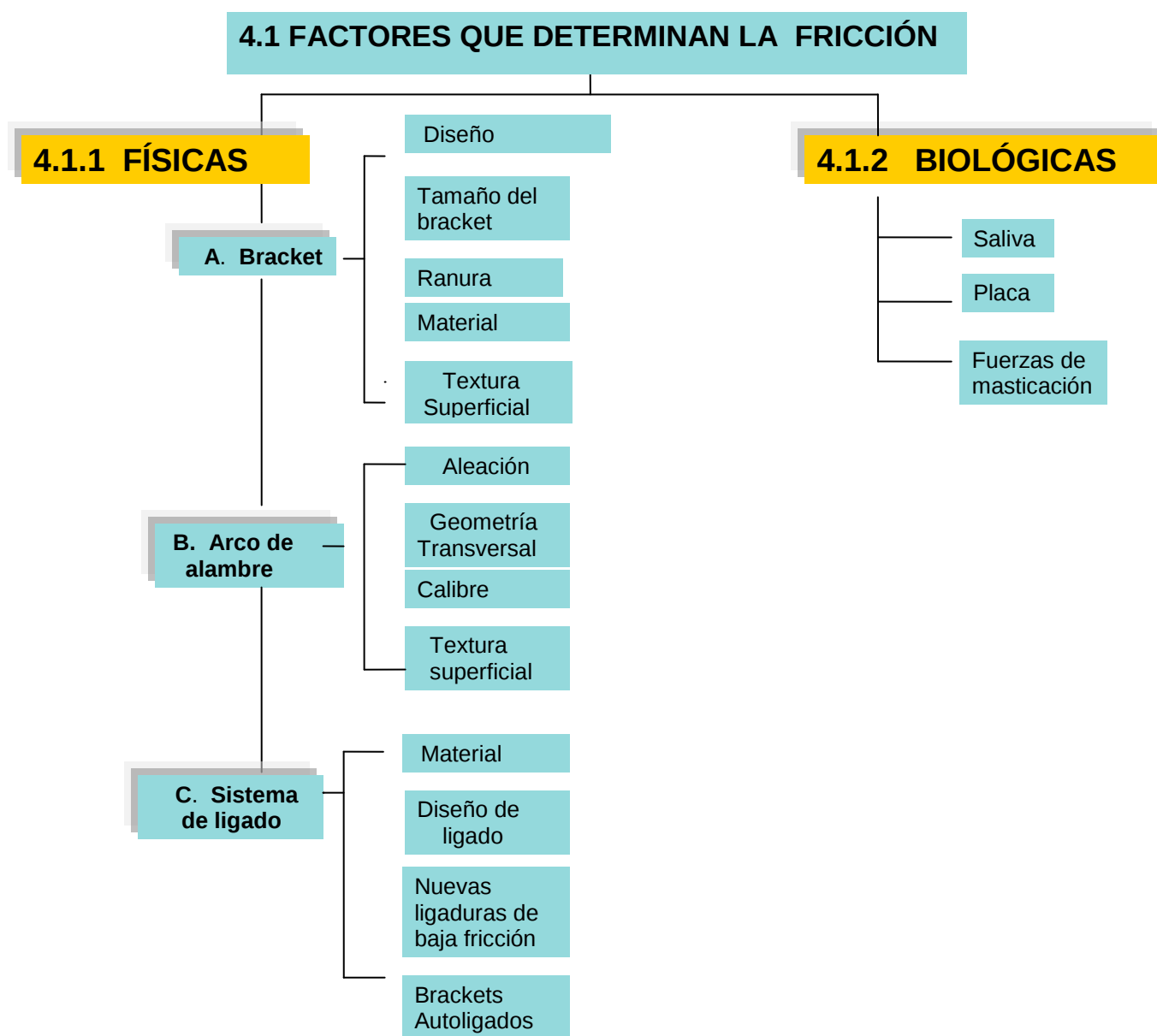
Por el contrario, con la reducción de la fricción, utilizando fuerzas más ligeras, se consigue un movimiento dentario más rápido con mayor estabilidad de los resultados, y con menos molestias para el paciente.^{16,34}

Es por todo esto, que el clínico debe estar consciente de la magnitud de la fuerza aplicada durante el tratamiento ortodóncico, así como también de la aparatología, técnicas, dispositivos y combinaciones de ellas que contribuyen a la producción y control de la fricción.^{22,23,26}

Factores que determinan la fricción

Los investigadores^{1,5,7,21,22,23,25,37} han establecido diferentes variables que pueden afectar de forma directa o indirecta la magnitud de la fricción durante el movimiento dentario. Estas pueden ser de carácter físico y biológico y es por esto que el Nanda¹³ asegura que la naturaleza de la fricción en ortodoncia es de origen multifactorial.

Por razones didácticas, estas variables se presentarán en forma esquemática y luego serán descritas.



Cuadro 2. Esquema que representa las variables que afectan la fricción
Modificado de Nanda¹³ 1997.

IV.1 VARIABLES FÍSICAS

Se considerará en esta parte la influencia que tiene las características del bracket, del arco de alambre y del sistema de ligado en la fricción. Cuadro 2.

A. Características de los brackets

Para efecto de este trabajo y debido a que en la actualidad la versatilidad en el diseño de los brackets es muy amplio, en esta parte la revisión se hará considerando el efecto que tiene sobre la fricción el diseño de los brackets convencionales haciendo énfasis en el tamaño, ranura, textura superficial, material y su relación con la fricción.

Tamaño del bracket

El tamaño del bracket ha sido quizás una de las características que ha sufrido mayor modificación en las prescripciones, con miras a reducir los niveles de fricción y a mejorar la eficiencia en las mecánicas de deslizamiento.^{1,2,5,23}

El desarrollo del bracket empezó a inicios del siglo XX basado en el diseño del arco de canto por Angle, el cual inicialmente consistió en un bracket de oro dúctil con una ranura horizontal rectangular de 0.022" x 0.028", como se muestra en la

figura 6, cuya principal desventaja es que se deformaba rápidamente por acción de las fuerzas de oclusión y tuvo que ser modificado sobre todo en el material de la aleación utilizada, siendo sustituido por el acero inoxidable posteriormente en 1933.

38,39,40

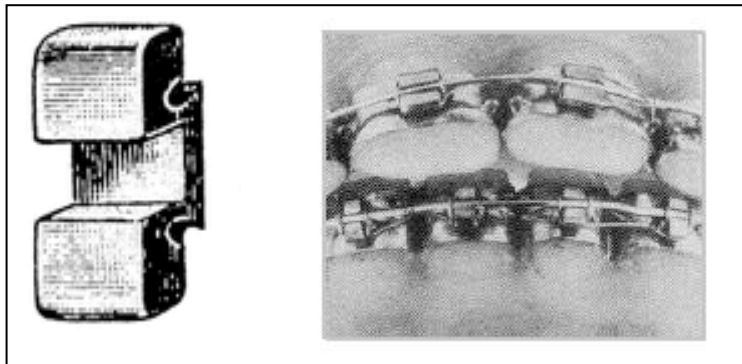


Figura 6 Prototipo del Bracket de arco de canto 1928.
Tomado de Kusy 2002³⁸, e Inocencio 2006⁴¹

El siguiente paso fue reunir dos brackets de los utilizados en la técnica, en una base común, para formar los denominados brackets gemelos o siameses (figura 7), cuya principal ventaja sería controlar la rotación dentaria.³⁹

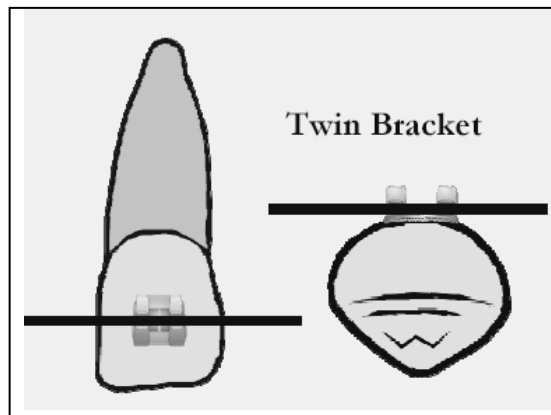


Figura 7 Bracket gemelo
Tomado de Inocencio 2006⁴¹

La literatura refleja las modificaciones que los brackets han sufrido con el paso del tiempo, no sólo en cuanto al tamaño, sino también en su forma y es así como pueden presentarse diversas combinaciones. Figura 8.

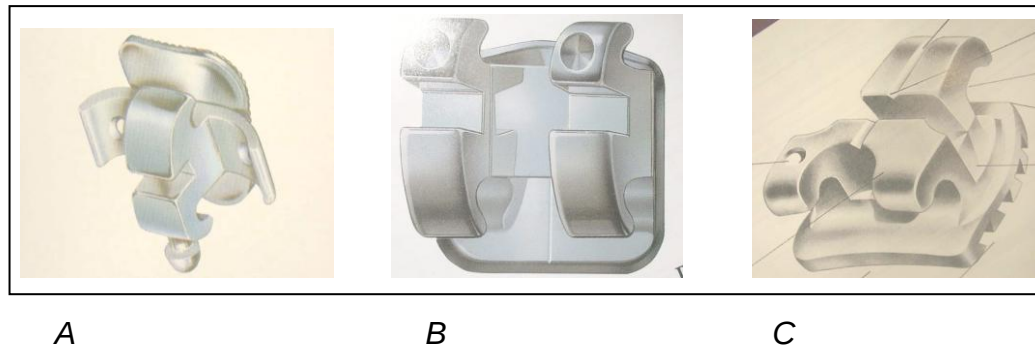


Figura 8. Tipos de brackets.
A: Bracket Simple, B bracket gemelo, C Bracket de combinación.
Tomado de Seifi. 2004.²

En la actualidad la versatilidad en el diseño y tamaño de los brackets es muy amplio y varía de acuerdo a la casa fabricante y

a la técnica ortodóncica seleccionada, se pueden encontrar con diferente prescripción patentadas por autores tales como Roth, Ricketts, Bennett, Mac Laughlin, Alexander, Rootes, entre otros, como lo refiere Canut⁴³, diferentes entre sí en algunos casos por pequeños detalles.

De manera general y de acuerdo a su anchura pueden ser clasificados en tres grupos: anchos, medianos y pequeños, figura 9, sin embargo la relación de esta variable con la fricción es un punto controversial.⁴⁴

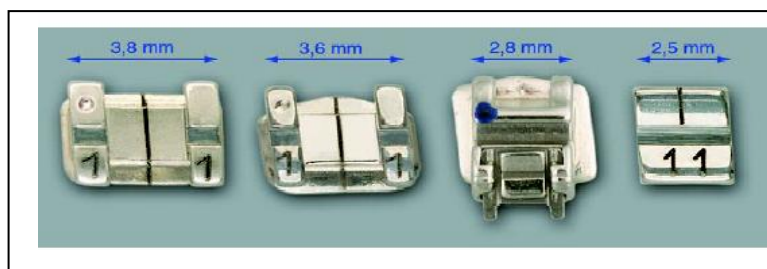


Figura 9 Diferentes anchos de los brackets.
Tomado de Cervera 2005.⁴⁴

Para diversos autores entre los que se encuentran Smith⁵ Michelberger,²³ Frank y Nicholai,¹⁵ y Kapila⁴⁵ mientras mayor es el tamaño del bracket, mayor será la fricción, lo cual puede ser debido al aumento de la fuerza producida al ligar el arco al bracket, y por la otra a la mayor superficie de contacto entre ambas superficies creando múltiple punto de fricción.^{1,37}

Por el contrario, para Dowling,²⁰ Nicholls y Drescher citados por Mah¹ y Tidy⁴⁶, a medida que aumenta el tamaño del bracket, la fricción disminuye y viceversa. Específicamente Dowling²⁰, encontró que los brackets pequeños (Minitwin) en comparación con los estándar produjeron mayores niveles de fricción al compararlos con los anchos, en un rango superior al 30%, atribuyendo este hecho a que la ligadura elastomérica se ajustaba de una manera más precisa al bracket, como pudo apreciarse al microscopio electrónico.

El tamaño del bracket está muy relacionado con la distancia interbracket que es otra de las variables que pueden afectar la fricción, de tal manera que cuando esta distancia es mayor porque el bracket es más pequeño, el arco es más flexible, disminuyendo en consecuencia la carga, la fricción resultante y viceversa. Es por esto, que la tendencia actual es reducir todo lo posible esta dimensión con el uso de brackets pequeños.^{5,44,45}

Tamaño de la ranura

Esta es una de las características que ha sido sometida a diversas modificaciones en el diseño de los brackets, y al igual que lo que sucede con el tamaño, su efecto en la fricción es muy discutido y controversial.

Kusy³⁸ refiere que en la década de los '50 y '60 en pleno apogeo del uso del acero inoxidable en los brackets usados en ortodoncia, Steiner introduce la ranura 0.018 x 0.028 (0.457 mm x 0.711 mm), para el uso de arcos del mismo material, sustituyendo la ranura de 0.022 x 0.028 (0.559 mm x 0.711 mm) previamente descrita en el diseño de Angle.³⁸ Por su parte Ricketts citado por Cash⁴⁰ diseñó en su técnica triple control bioprogresivo una ranura del bracket 0.18" x 0.30

La variación en esta característica es muy amplia y lo interesante destacar aquí también En la literatura revisada, se observa opiniones contradictorias en relación a este punto y así se tiene que para Nikolls citado por Nanda¹³, Frank y Nicholai¹⁵ la fricción aumenta a medida que la ranura es mayor, mientras que por otro lado para Mah¹, Smith⁵, y Michelberger²³, sucede lo contrario, mientras que para Kapila⁴⁵ y Tidy⁴⁶, el tamaño de la ranura del bracket no tiene efecto significativo en la fricción.

Kusy y Whitley²² quienes basados en un modelo matemático, demostraron que el aumento de la fricción en brackets con ranuras más pequeñas se debió al aumento de la fuerza aplicada al colocar y forzar el arco en el bracket, más que al tamaño de la ranura propiamente dicha. Para otros autores

como Mah¹ Smith⁵, Michelberger²³, Klocheret³⁷, el tamaño de los arcos tiene mayor impacto en la fricción que el tamaño de la ranura, ya que ha medida que estos aumentan, también lo hace la fricción. Por ejemplo, produce mayor fricción un arco .018x.025 en una ranura .018, que en una ranura .022; y uno.016 x .022 de acero en una ranura .018 produce menos fricción que la combinación anterior.

Material del bracket

Otra variable importante a considerar en relación a la fricción es el material con que es elaborado el bracket. Los ortodoncistas en la actualidad tienen múltiples opciones para seleccionar el material de los brackets, pudiendo escoger de una amplia gama entre los brackets metálicos y estéticos. Cuadro 2.

En general, los brackets metálicos pueden ser confeccionados en diversas aleaciones tales como acero, cromo-cobalto y titanio⁴⁴. En relación a los brackets de cromo cobalto y de titanio, la literatura reporta que son biocompatibles y sus beneficios han sido reconocidos principalmente en el campo de la prótesis dental y médica, sin embargo su uso en la fabricación de brackets ortodóncicos es limitado. ^{13,44}

La composición exacta, así como el proceso de manufactura y acabado de los brackets de acero inoxidable, puede variar significativamente la fricción.²³ En el proceso de elaboración, estos brackets pueden ser confeccionados por colado y/o por sinterizado.^{13,23}

La tecnología del colado que es la más antigua e incluye los procesos de torneado y corte, produce brackets con ángulos agudos, voluminosos y ásperos;^{13,44} mientras que la del sinterizado que consiste en el proceso de fusión de partículas individuales después de compactarlas bajo calor y presión, da como resultado brackets de superficies redondeadas, uniformes y contorneadas.^{13,23,44}

Diversos investigadores^{1,13,23,37,44} aseguran que los brackets elaborados por sinterizado muestran menores nivel de fricción cuando se les compara con los colados debido a la textura superficial del acero es más lisa. En este sentido, Smith⁵ y Michelberg,²³ reportaron una reducción de la fricción entre el 40-45% en los brackets por sinterizado.

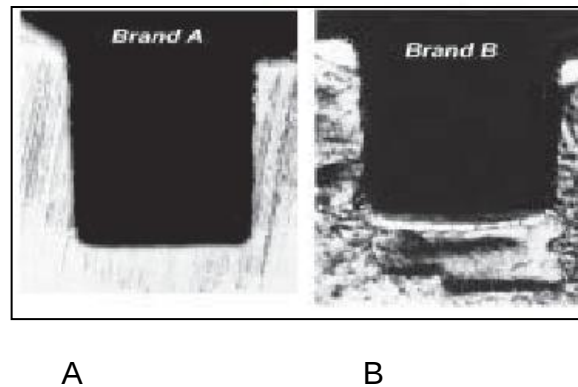


Figura 10. Superficie de brackets de acero inoxidable
A por sinterizado, y B por colado.
Tomado de Matasa 1995.²⁴

En relación a los brackets estéticos pueden ser: cerámicos y de policarbonato, con o sin refuerzo metálico en su ranura. Estos han mostrado bajo el microscopio electrónico una estructura cristalina que contiene múltiples poros, dando lugar a una superficie más rugosa en comparación con los de acero que es más lisa y suave, y esta es quizás la principal razón por la que los brackets de porcelana están asociados a una mayor fricción.^{37,44}

Nanda¹³ encontró que los brackets de porcelana mostraron mayores niveles de fricción para todas las combinaciones de aleaciones y medidas de alambres, debido a que su ranura presenta una superficie más porosa y rugosa como lo muestra la figura 11, en comparación para los brackets metálicos cuya

superficie es más suave y pulida ^{1,5,13,23,47}. Sin embargo para, Kusy y Whitely²² se debe a la diferencia del coeficiente de fricción entre ambos materiales, siendo mayor el de la porcelana.

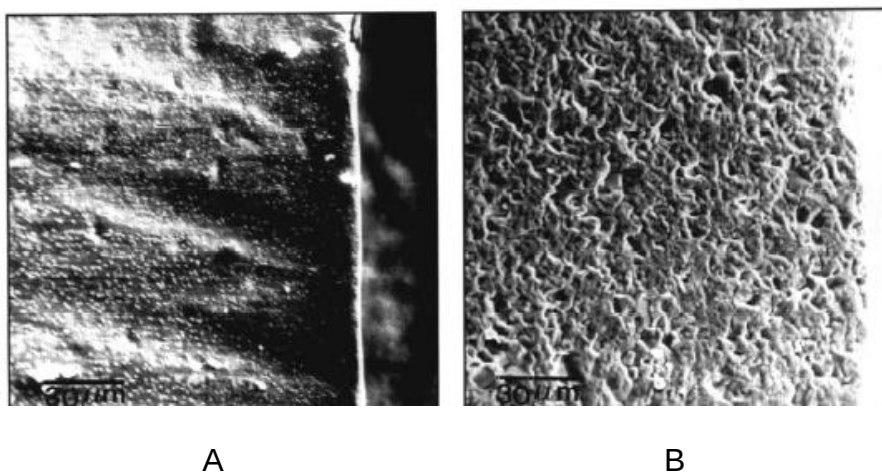


Figura 11 A: Ranura de bracket metálico. B: Ranura de bracket cerámico, mostrado al microscopio estereoscópico.
Tomado de Tanne 1991.⁴⁷

Por en contrario Klocheret³⁷, en un estudio del 2004, confirma que algunos brackets cerámicos (Alllure GAC, Vogue MBL), representaron niveles de fricción bajos, estadísticamente similares a brackets metálicos.

En un interés continuo por mejorar la estética de los aparatos ortodóncicos conjuntamente con el logro de una reducción de la fricción, ha surgido una nueva generación de brackets cerámicos que presentan una ranura metálica como en los Clarity de la Unitek, o los de la casa GAC, figura 12; los

cuales han reportado niveles significativamente menores de fricción debido a la combinación de pares metálicos, tanto de la ranura como del arco, disminuyendo el coeficiente de fricción, ya que la ranura de acero permite el comportamiento del bracket como si fuera de acero y no cerámico.^{44,45,50}

En la actualidad, el diseño de los brackets metálicos y estéticos han sido modificados de tal manera que presentan márgenes y bordes redondeados para promover mayor movimiento del arco dentro de la ranura y disminuir la magnitud de fricción.^{1,2,4}

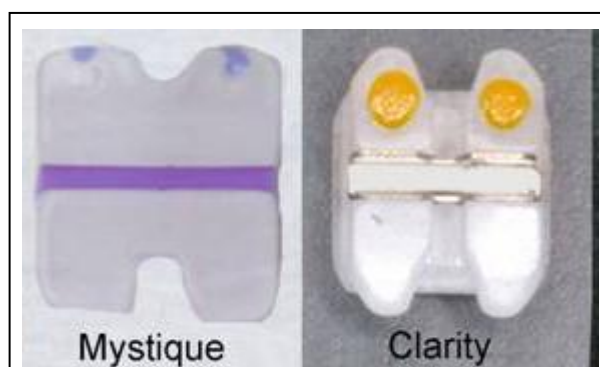


Figura 12 Bracket Mistique y Clarity

Tomado de Bagby 2004⁴.

De acuerdo con esto, se ha planteado una controversia en relación a la indicación clínica de los brackets estéticos considerando su fricción y en este sentido, Klocheret,³⁷ y Kusy

y Whitley²² aseguran que no existe contraindicación en el uso de brackets cerámicos en cualquier fase del tratamiento ortodóncico puesto que su efecto sobre la fricción no es significativo mientras que Kapila⁴⁵, y Tidy⁴⁶ solo recomiendan el uso de estos brackets en los casos de alineación, pero para efecto de mecánicas de deslizamiento que incluya cierres de espacios, sugieren el uso de brackets metálicos; consideran que debido a las características de la superficie de los brackets estéticos el movimiento dentario se ve disminuido, como lo reporta Tanne⁴⁷ en su estudio del '91. ^{45,46,47}

Textura superficial

Siguiendo el análisis del cuadro 2, otra variable importante a considerar es la **textura superficial** de los brackets, la cual esta muy ligada o relacionada con el material con que es elaborado el bracket y es por eso que serán analizadas conjuntamente

El término "aspereza" usualmente se refiere a las características microtopológicas de una superficie, la cual abarca no solamente el grado de rugosidad, sino también la geometría, orientación y dureza en las dos superficies en contacto.^{1,5}

En la literatura se evidencia dos tendencias de pensamiento en relación a la influencia de la textura superficial de los brackets en cuanto a la fricción.

Por una parte, autores como Mah,¹ Kusy,²² y Thorstenson²⁷ consideran que las rugosidades superficiales de los brackets necesariamente no están relacionadas con la fricción, atribuyéndole mayor importancia a la fuerza del ligado como factor determinante y por la otra autores como Nanda,¹³ Baker,¹⁶ Drescher,¹⁷ Taylor,¹⁹ Clocheret³⁷ han demostrado que la fricción sí está relacionada con la textura superficial de la ranura del bracket, encontrando altos niveles de fricción en superficies rugosas como la presentada por algunos brackets cerámicos en comparación con las superficies lisas y pulidas de los brackets de acero inoxidable.

Kapila⁴⁵ asegura que la fricción causada por irregularidades y asperezas de la superficie, aumenta con el número de brackets haciendo que la fuerza aplicada al sistema disminuya, con lo que el movimiento dentario se verá afectado.⁴⁵

B. ARCOS

A finales del siglo XIX, Angle, Kingsley y Farrar citados por Kusy,³⁸ fueron pioneros en el campo de ortodoncia, ya que desarrollaron el uso de alambres ortodóncicos confeccionados en oro, platino y plata. Posteriormente, se incorpora el uso del acero inoxidable en forma industrial y la ortodoncia no escapa de este avance, y es por esto ya para 1930 se inicia el desarrollo de arcos de acero, sin embargo 20 años después es cuando es aceptado formalmente.^{38,40}

La literatura ortodóntica refiere en la profesión diferentes características de los arcos que pueden afectar la fricción, actuando bien sea individualmente o en combinación, corroborando lo dicho por Nanda¹³ en relación al carácter multifactorial del fenómeno fricción.

En relación a los arcos de alambre usados para producir movimientos ortodóncicos, es importante considerar su calibre, geometría transversal, y material así como también su textura superficial.

Aleación

Smith,⁵ Krishnan⁴⁸ y Tidy⁴⁶ refieren que en cuanto al material de los arcos, el acero inoxidable es la aleación que presenta una superficie más lisa y pulida y que genera menores niveles de fricción, seguida por el cromo cobalto, el Beta titanio, y el Nitinol respectivamente, encontrando que este último produce aproximadamente el doble de fricción que el acero inoxidable en arcos del mismo calibre^{46,48,49}, mientras que el Beta titanio la fricción es mayor con respecto al acero inoxidable. Según los autores mencionados este comportamiento es debido a que el coeficiente de fricción del acero es menor que el de las otras aleaciones.^{5,46,48,49} Estas diferencias son claramente significativas en la práctica clínica e explica posibles desventajas del uso de estas aleaciones resilientes durante la mecánica de deslizamiento.⁴⁶

Por su parte, los estudios realizados con espectografía láser y profilómetro^{1,26}, y al microscopio electrónico⁴⁸, demostraron que las asperezas de los alambres ortodóncicos, es decir su naturaleza “per se” sí se correlacionan con los valores fricción, Krishnan⁴⁸ encontró que el beta titanio presenta una superficie muy porosa y con múltiples rugosidades asociada a mayores

niveles de fricción en la interfase ABL, en comparación con el acero, como se aprecia en la figura 13.

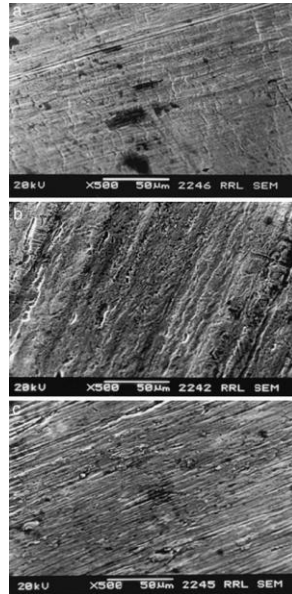


Figura 13. Imagen al microscopio electrónico a 500× de magnificación.
De arriba hacia abajo: (a) Acero, (b) TMA™, (c) TiMolium™
Tomado de Krishnan 2003⁴⁸

Por su parte, Michelberger²³, al comparar los niveles de fricción entre el TMA y el Niti, encontró que a pesar que los arcos de TMA son más lisos, la fricción es mayor debido al coeficiente de fricción del TMA y no tanto por la textura superficial. Así mismo encontró que los arcos de acero de mayor calibre registraron menores niveles de fricción en brackets de porcelana.

Tipo de aleación	Fricción
Acero Inoxidable	Baja
Cobalto – Cromo	Baja
Nitinol M, A y M ac *	Alta
Beta - Titanio	Muy Alto

Nitinol martensítico estable, y austeníticos y martensíticos activos.

Cuadro 3. Comparación de fricción entre alambres de ortodoncia
Tomado de Bilbao 1997.⁴⁹

Calibre y Geometría Transversal.

Mah¹, Smith⁵, Michelberger²³ Ogata⁵¹ entre otros investigadores, coinciden en que a medida que se aumenta la dimensión del arco, también lo hace la fricción, pero es imperativo considerar otras variables como el material del arco y su textura, ya que esto representa una interacción muy compleja que puede afectar la fricción de diferentes formas. Ogata⁵¹ asegura que la fricción aumenta con arcos de mayor calibre, así como con arcos rectangulares, debido a un incremento de la fuerza en la interfase ABL.⁵¹

Sistema de ligado

En el campo ortodóncico, el sistema de ligado comprende el mecanismo mediante el cual se mantiene el arco dentro de la ranura del bracket, usando como medio de fijación dispositivos conocidos como ligaduras, las cuales abarcan desde ligaduras metálicas, elastoméricas, recientemente las conocidas como “ligaduras de baja fricción”, hasta el uso de brackets autoligados.

El efecto que cada uno de esos sistemas de ligado tiene sobre la fricción es un tema muy controversial desde los primeros reportes de la literatura, como lo refiere, Dowling ²⁰, Climenti ²¹, Suárez ³⁰, De Franco ³³, Sacerdoti ³⁴, Bacceti ³⁵, Ogata ⁵¹, y Harradine ⁵² entre otros.

La relación del ligado con respecto a la fricción depende de la fuerza aplicada y de las características del bracket, del alambre y de las condiciones biológicas presentes en la interfase ABL, y eso por esto que se hará una revisión de las características de cada uno de estos sistemas de ligado y su relación con la fricción.

Material de las ligaduras

Clásicamente el material usado para unir el arco al bracket durante el proceso de ligado lo constituye la ligadura metálica y posteriormente la elastomérica.

Ligaduras metálicas.

En general, este tipo de ligadura es confeccionada en una mezcla de cromo y acero inoxidable, variando su dimensión entre .009" a .012"; aunque existen las denominadas Kobayashi que pueden llegar a .014" de diámetro.¹ Figura 14.

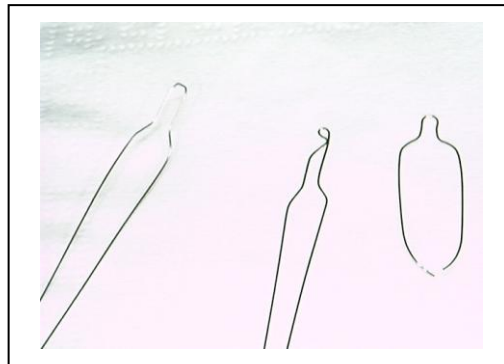


Figura 14 Ligadura metálica
Tomada de www.orthorganizer.com 2006⁵⁷

Entre sus ventajas destaca el hecho que no se deterioran en el medio bucal y mantienen su forma y fuerza, además de proveer menor retención de placa bacteriana y ser más fáciles de limpiar que las elastoméricas.^{2,5,23,53}

En contraparte, el uso de las ligaduras metálicas consumen al momento de ser colocadas, además del riesgo de laceración del tejido blando, la incomodidad presentada a veces en el paciente, además de la fatiga en la mano del operador. ²

Algunos autores ^{27,33} consideran que presentan menor fricción al ser comparadas con las elastoméricas, pero la misma va a depender principalmente de la fuerza aplicada durante el proceso de ligado, dependiendo de cada operador.

Para disminuir la fricción y lograr mayor movimiento dentario, Schumacher recomienda que las ligaduras metálicas deben ser entorchadas aproximadamente entre 90° y 180° con respecto al bracket, lo cual desde el punto de vista clínico resulta difícil.²

Harradine⁵², refiere que el proceso de ligado con las ligaduras metálicas era muy lento comparado con el de las elastoméricas, agregando casi 12 minutos al tiempo necesario para remover y reponer 2 arcos. Quizás esta sea la más importante razón del desuso casi masivo del las mismas.

Ligaduras elastoméricas

Son pequeños anillos de elastómero utilizados para ligar el arco de alambre al bracket, figura 21. Fueron introducidas en 1970 y han reemplazado a en un gran porcentaje a las metálicas, entre otras razones porque son fáciles y rápidas de usar², aunque presentan algunas desventajas ya que los arcos no quedan completamente ajustados al brackets durante el ligado, absorben humedad y cambian de color, por lo que son afectados adversamente por el medio ambiente bucal, además favorecen el acumulo de residuos alimenticios, lo que puede generar mal olor y problemas de inflamación gingival ^{13,20,21,53}

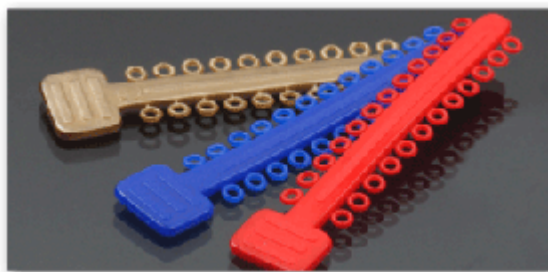


Figura 15 Ligaduras elastoméricas
Tomado de Suárez 2006 ³⁰

Se expenden en diferentes colores y forma de presentación, su sección transversal es de diferente diámetro interno y su selección va a depender del tipo de bracket utilizado.

Este tipo de ligadura contiene poliuretano en su composición y como material elástico que es, tienen la propiedad biomecánica de recuperar su forma y dimensión original, tan pronto como cesa la acción que la modifica, sin embargo clínicamente es importante recordar que una vez colocadas en boca, las elastoméricas tienden a deformarse permanentemente (Fig 16) y a perder entre un 50 a 70% de la fuerza aplicada durante las primeras horas, además son afectadas por humedad y temperatura. y muestran relajación por estrés con el paso del tiempo. Nanda ¹³, Taloumis⁵⁴, Seifi², Matasa²⁴, Chimenti²¹.



Figura 16 Pérdida de elasticidad de una ligadura elastomérica.
Tomado de Matasa 1995 ²⁴

La fuerza normal ejercida por la ligadura tiene influencia significativa en la determinación de la fricción dentro de un sistema ortodóncico. Nanda ¹³ reporta que esta fuerza ha sido estimada entre 50 gr hasta 735 gr.

La disminución de la fuerza de estas ligaduras y el pre estiramiento antes de ser colocadas en boca trae consigo una disminución de la fricción como lo refiere Seifi², Chimenti²¹, Matasa ²⁴, Dowling ²⁰ y Bacceti ³⁵.

Puede decirse que además del decaimiento de la fuerza, existen diferentes características de las ligaduras elastoméricas que pueden estar relacionadas con la fricción, tal es el caso del color, como lo refiere Dowling ²⁰ en el '98 quien reportó diferencias en la magnitud de la fricción entre las elastoméricas de diferentes colores (gris, transparente, naranja) usando arcos de acero .018"x25 en brackets con ranura horizontal .022"x28, durante los movimientos de torque. Sus resultados muestran que los módulos transparentes arrojaron los menores niveles de fricción. ²⁰

Por otro lado, llama la atención el hecho de que las dimensiones o tamaño de las ligaduras elásticas en relación a la fricción, no han recibido mucha atención por parte de los investigadores.

Recientemente el trabajo de Chimenti ²¹ en el 2005 está dirigido en esa dirección, y encontraron que las ligaduras

pequeñas y medianas produjeron un significativo descenso entre 13%-17% en la fricción cuando se comparó con las grandes.

En cuanto al diseño del ligado y su relación con la fricción (ver figura 23), también existen estudios en la literatura^{2,20,26,27,52} que refieren que un patrón de ligado en forma de “8” en brackets estandar produce mayor fricción (70 a 220%) que las ligaduras colocadas en forma de “O”, las cuales según Meling, citado por Harradine⁵² producen en promedio 50 gramos menos de fricción que las ligaduras metálicas.

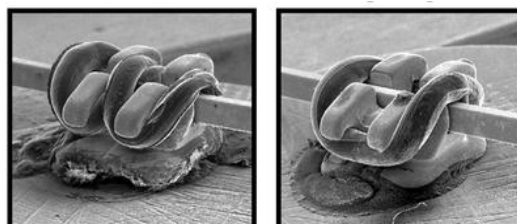


Figura 17 Ligado en “8” Ligado en “O”
Tomado de Thorstenson 2002²⁷

Nuevas ligaduras de baja fricción

En la actualidad, los ortodoncistas están muy conscientes de la importancia de la fricción durante el tratamiento, siendo la reducción de la misma en la interfase ABL una meta importante a lograr, para así producir un movimiento dentario más eficiente. Esto ha conducido a avances tecnológicos dirigidos hacia el

diseño del bracket, los materiales de los arcos, las nuevas aleaciones, así como el desarrollo de nuevas y mejores ligaduras, y en este sentido, Kusy ²², establece que existen 2 medios o recursos para disminuir la fricción: el uso de los sistemas autoligados, y el desarrollo de las recientes ligaduras de “baja fricción”.

En el mercado, han aparecido diferentes diseños de estas ligaduras de baja fricción; la casa Rocky Mountain, y la TP entre otras, han creado las llamadas “ligaduras sin fricción” **Slide** y la **Super Slick** respectivamente. ³⁰

En el caso de la Super Slick esta ligadura se caracteriza en por estar cubierta de una capa polimérica creando una superficie lubricada que llega a ser extraordinariamente deslizante cuando es humedecida por la saliva en el ambiente bucal por la saliva, eliminando virtualmente la fuerza de fricción creada entre el arco y la ligadura. Figura 18.

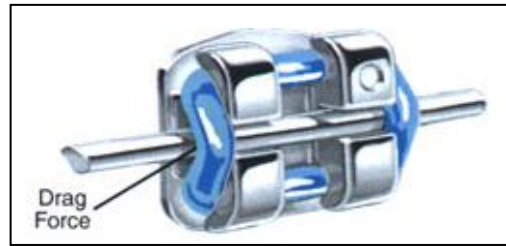


Figura 18 Ligadura Super Slick, TP.
Tomado de www.tportho.com 2006 ⁶²

También la eficacia de esta ligadura fue investigada por Hain y cols. en el año 2003 ⁵⁵ y por Griffiths en el 2005 ⁵⁶, en un estudio in vitro evaluando el efecto del método de ligado sobre la fricción, en esta nueva ligadura. Se comparó la ligadura Super Slick TP, con ligaduras elastoméricas convencionales, metálicas y brackets autoligados. El resultado demostró que cuando se consideró el movimiento de los dientes a través de un arco de acero 0.019 x 0.025", los módulos lubricados pueden reducir la fricción estática en la interfase bracket – arco hasta un 60% en comparación con los sistemas convencionales de ligado, siendo similar a la de los brackets autoligados. ^{55,56}

Existe otro tipo de cubierta como es la de **silicón** que produjo una disminución de la fricción entre un 24% y 67% en comparación con las ligaduras convencionales según Anderson, y de un 24% según Chimenti ²¹ con respecto a las no lubricadas.

Para Hain y cols en el 2003 encontraron un descenso significativo (superior al 60%) en la fricción estática con los módulos lubricados en relación a los convencionales. De acuerdo a este autor, el uso de módulos lubricados determinaron una reducción en la fricción similar con los brackets autoligados.²¹

Para Hain y cols ⁵⁵ en el 2003 encontraron un descenso significativo (superior al 60 %) en la fricción estática con los módulos lubricados con silicón en relación a los convencionales. De acuerdo a este autor, el uso de módulos lubricados determinaron una reducción en la fricción similar con los brackets autoligados. ²¹

Por otro lado las ligaduras cubiertas de teflón, (politetrafluoretileno PTFE) que es un polímero de bajo coeficiente de fricción patentado por la casa francesa DuPont, fueron desarrolladas para disminuir los niveles de fricción durante el tratamiento cuando la aparatología estética debe ser usada. Todos los autores De Franco ³³, Hain ⁵⁵ coinciden en que con el uso de este tipo de ligaduras se producen niveles menores de fricción estadísticamente importantes, al compararlas con las elastoméricas convencionales, independiente de cualquier tipo

de arco o bracket. Esto es debido a que el coeficiente de fricción del teflón es mucho menor que el del poliuretano con que está confeccionado la elastomérica.³³

Las ligaduras desarrolladas por la casa italiana Leone llamadas **Slide**, asumen el mismo principio de ser una “ligadura de baja fricción”. Aunque el mecanismo es diferente a las descritas previamente, ya que su diseño es tal que al ser colocada en el bracket, transforma su ranura de tres paredes en una especie de caja o túnel de cuatro, donde el arco puede deslizarse libremente sin fricción, figura 19. Se dice que es un ligado pasivo alrededor de la ranura del bracket, que además presenta una característica de amortiguación o “buffer” entre el bracket y los tejidos blandos de labios y carrillos, disminuyendo las molestias al paciente.³⁰

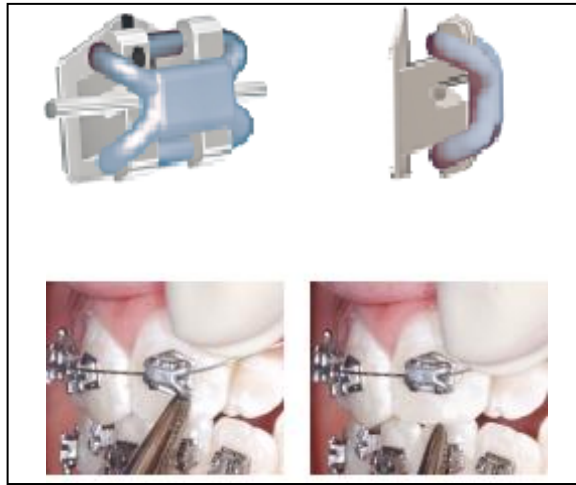


Figura 19 Ligadura Slide
Tomado de Sacerdoti 2006 ³⁴

Tiziano y Cols. ³⁵ en el año 2006, realizan un estudio in Vitro en el que se demostró que la ligadura de baja fricción Slide , presentó una reducción significativa de la fricción durante la mecánica de deslizamiento en comparación con las ligaduras convencionales, similar a la mostrada por los brackets autoligados reportados por Harradine⁵² en el año 2003, concluyendo que este tipo de ligadura representa una alternativa a los sistemas autoligados pasivos, cuando se necesita mínima cantidad de fricción en brackets convencionales. Figura 20.

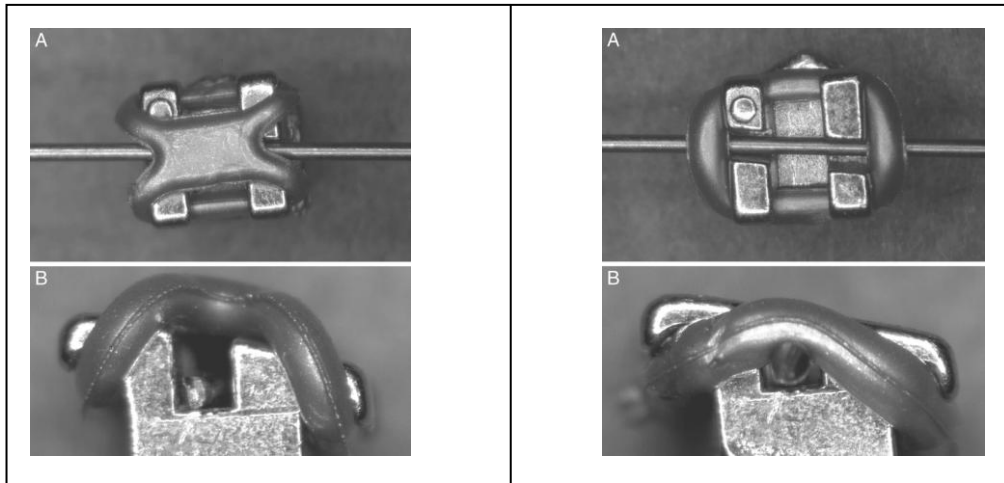


Figura 20 A Ligadura. Slide (Leone) B Ligaduras convencionales
Tomado de Bacetti 2006³⁵

Brackets que limitan la fuerza de la ligadura

La evolución en los sistemas de brackets y los resultados de optimización del tiempo de tratamiento por medio del uso de fuerzas ligeras y baja fricción, han permitido el surgimiento de diferentes diseños de brackets convencionales modificados, que surgen como alternativas a los sistemas autoligados pero con los mismos principios y/u objetivos, los cuales según Nanda ¹³ restringen la fuerza aplicada sobre el alambre por la ligadura, tal es el caso de la **Técnica Synergy** o Arco Recto Baja Fricción, desarrollada por la casa Rocky Mountain RMO, la también conocida **Friction Free** de American Orthodontic, o el del bracket **Delta Force** de la casa Ortho Organizar.

La técnica Synergy, aseguran varios autores ^{13,24,30} que provee todas las ventajas de la Técnica de Arco Recto, eliminando uno de los principales problemas: la fricción, permitiendo un máximo de deslizamiento en las etapas iniciales, al trabajar con un bracket versátil que tiene 3 pares de aletas en vez de dos como los convencionales^{13,24,30}. Figura 21

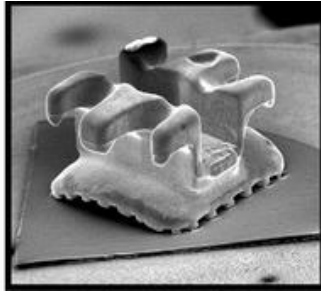


Figura 21 Bracket Synergy
Tomado de Thorstenson 2002.²⁷

En estos brackets, la aleta central está diseñada para que cuando se coloque la ligadura en el centro solamente, el contacto entre arco-ligadura es nulo o mínimo, reduciendo la fricción casi a cero, optimizando así el movimiento.^{5,13,24,30}

- Ligado en el centro “C”: para lograr máximo deslizamiento y por lo tanto máximo movimiento dentario. Está indicado cuando se busca un máximo desplazamiento dentario: etapas iniciales, alineación, distalización de caninos etc. Un estudio conducido por el Ogata⁵¹ en la universidad de Oklahoma, encontró que el ligado en la aleta central de estos brackets, producen menor fricción en comparación con los brackets convencionales, siendo esta diferencia estadísticamente significativa.^{30,51}



Figura 22 Ligado conocido como "cero fricción"
Tomado de Suárez 2006³⁰

- Ligado en forma tradicional de "O": se ligan las esquinas de las aletas de forma convencional, para lograr máximo control de las rotaciones de tal manera que la fricción originada por el contacto entre la ligadura y el arco condicionará del grado de movimiento dentario, el cual en este caso será moderado.



Figura 23 Ligado Convencional
Tomado de Suárez 2006³⁰

- Ligado en forma de "8": de esta forma se produce un contacto cerrado en el sistema arco-bracket-ligadura. Está indicado para cuando mantener o recuperar torque, o cuando se necesita obtener el anclaje gracias a la fricción.

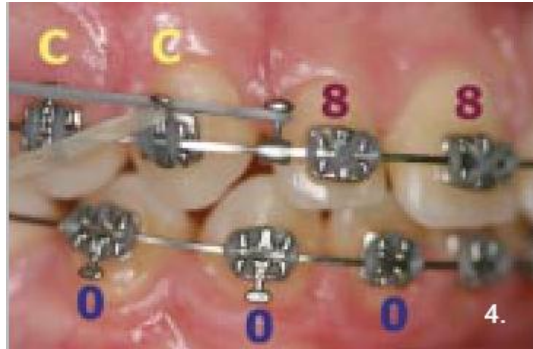


Figura 24 Diferentes formas de ligado del Sist. Synergy
Tomado de Suárez 2006 ³⁰

Otro bracket con características similares es el Delta Force (figura 25), cuyo particular diseño de tres aletas oclusales y una gingival, permite al clínico la habilidad de controlar la fricción entre el arco, el bracket y la ligadura elástica, variando la posición de la misma dependiendo de la mecánica empleada en determinada situación clínica, como lo muestra la figura 25.

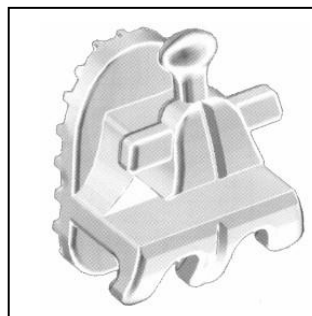
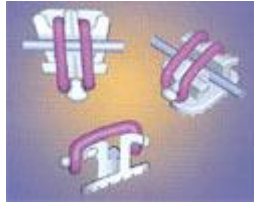


Figura 25. Bracket Delta Force
Tomado de www.OrthoOrganizers.com 2006 ⁵⁷

MÍNIMA FRICCIÓN



MODERADA FRICCIÓN



MÁXIMA FRICCIÓN

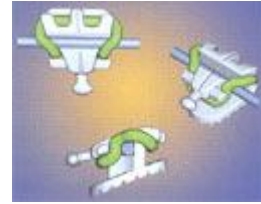


Figura 26. Modalidad de método de ligado del Bracket Delta Force
Tomado de www.OrthoOrganizers.com 2006 ⁵⁷

Estos brackets de baja fricción permiten la “individualización de los dientes”, ofreciendo múltiples alternativas de ligado, que permiten reducir la fuerza de ligado de acuerdo a la situación clínica presente, disminuyendo así la fricción como lo reporta, Michelberg ²³, Ogata ⁵¹, y Nanda ¹³ consideran que el bracket que produce menos fricción es aquél que restringe o limita la cantidad de fuerza que se produce al momento de ligado.

El bracket “Friction Free” de la casa American Orthodontics, reportó en el estudio de Redlich ⁵⁸ en el 2003, los valores más bajos para la fricción. Sin embargo, no todos los brackets que presumen ser de “baja fricción” resultan así. Redlich ⁵⁸, Clocheret ³⁷, encontraron que tanto el sistema Synergy, como el “Friction Free” mostraron los valores más bajos de fricción, en

comparación con brackets similares, como Discovery (Dentaurum), Ultratimm (Dentaurum) y el TEW (GAC).

Como se puede apreciar, el mecanismo de ligado es una variable que tiene gran impacto en la fricción, y estos nuevos diseños de brackets de “baja fricción” permiten que la superficie de contacto de la ligadura con el arco de alambre sea mínima, por lo que la fricción disminuye permitiendo el movimiento de arco dentro de la ranura del bracket. Fig.24,26.

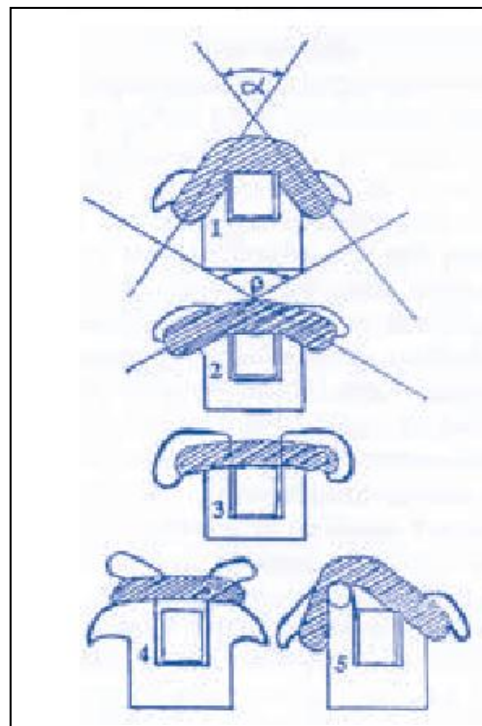


Figura 27 Esquema de la influencia de las ligaduras sobre la fricción en diferentes diseños de brackets

1. Fricción alta; 2. Moderada; 3. Baja; 4 “ Friction Free” (RM) y 5 Single Shoulder (Viazis). Los dos últimos son de fricción casi nula.

Tomado de Matasa 1995 ²⁴

Brackets Autoligados

Con la finalidad de disminuir la fricción que se produce durante el tratamiento ortodóncico, diversos autores ^{1,2,6,7,13,20,21,22,27,29} se han dedicado al estudio y desarrollo de los sistemas autoligados, los cuales son brackets cuyo diseño elimina cualquier tipo de ligadura, presentando un dispositivo que cubre o mantiene el arco en la ranura.

Los brackets autoligados, han sido clasificados en dos tipos: activos y pasivos. Este término se refiere a la forma o mecanismo en que el bracket interactúa con el arco.

Un bracket "activo", presenta una lengüeta o clip con acción de resorte que tiende a cerrar el bracket de tal manera que ese dispositivo siempre va a contactar el arco en mayor o menor grado, dependiendo de su calibre. Figura 28. Esta característica permitirá que aún un alambre liviano se ajuste más a la ranura del bracket, controlando mejor el movimiento dentario, con menor fricción comparado con las ligaduras convencionales, pero con mayor fricción que los bracket autoligados ^{1,2}.

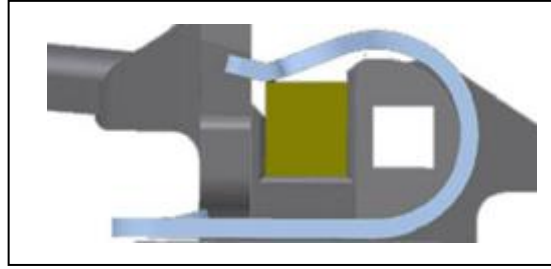


Figura 28 Bracket autoligado activo
Tomado de Seifi 2004²

En el bracket pasivo, el clip o resorte cierra el “techo” de la ranura en sentido vertical sin presionar el arco, creando un diseño de cuatro paredes al momento de cerrar la tapa vestibular del bracket, permitiendo el movimiento del arco a través del bracket y como ejemplo se tiene el Activa (“A” company), Damon SL II (Ormco). Figura 29.

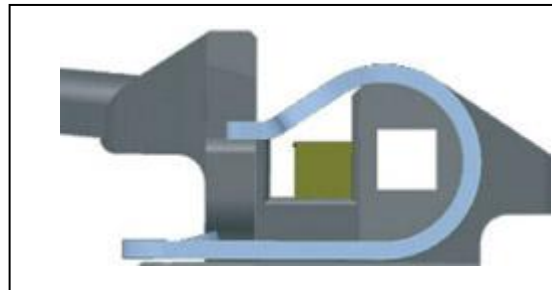


Figura 29 Bracket autoligado pasivo
Tomado de Seifi 2004²

Este concepto no es nuevo, ya en 1935, Stolzenberg, citado por Kusy y Seifi^{2,3} describe el “**Russel Lock o accesorio de Russel**”, que puede ser considerado como pionero en estos sistemas libres de ligadura. Su finalidad inicial fue reducir el tiempo de ligado así como la fricción, y su mecanismo de acción

ha sido elogiado a través de los años como lo reporta Nanda ¹³, y Kusy ³⁸.

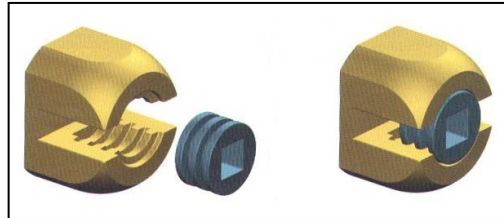


Figura 30 Russel Lock 1935

Tomado de Seifi 2004 ²

Después de varias décadas, la idea de un sistema libre de ligado fue retomado por Wildman en 1972 con la introducción del primer bracket autoligado moderno, el Edgelok, el cual tenía un cuerpo redondeado y utilizaba una tapa vestibular que permitía libertad de movimiento del arco. Después de múltiples variaciones desde su presentación inicial, el mecanismo de acción continuaba siendo igual. Figura 30. ^{2,38,52}.

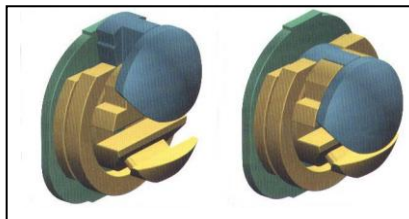


Figura 31 Bracket Edgelok

Tomado de Sefi 2004 ²

A través del tiempo muchos de estos sistemas se han patentado y algunos pocos han sido comercialmente disponibles. Nuevos diseños han aparecido, como por ejemplo el Active en 1986, el Time disponible desde 1994, el Damon SL I en 1996, y el Twin Lock en 1998. Los últimos y más útiles desarrollos resultaron el Damon II y el Ovation en el 2000, figura 32 y 33. Estos últimos exhiben mayores ventajas, y ha crecido en popularidad entre los clínicos.²

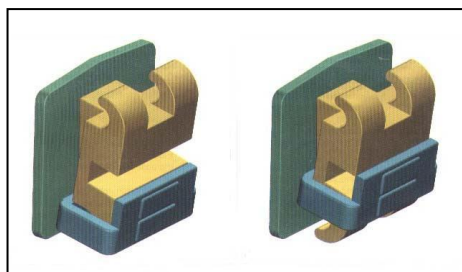


Figura 32 Damon SL I
Tomado de Seifi 2004²



Figura 33 Bracket Ovation GAC
Tomado de GAC 2006⁵⁹

La mayoría de los investigadores^{22,29,35,52,61,60} están de acuerdo que con estos sistemas se logra una disminución significativa del nivel de fricción, debido a que no presentan ningún tipo de ligadura, lo cual permite una total libertad de movimiento del arco en el bracket, logrando así una reducción del tiempo de tratamiento en comparación con los brackets convencionales, además de ofrecer como valor agregado menor

acumulo de placa bacteriana y promover una higiene adecuada. El hecho de que ventajas similares fueron observadas hace 50 años, destaca la importancia que ha tenido la fricción y su impacto en el tratamiento ortodóncico desde principios del siglo XX hasta nuestros días.

Sin embargo, la tendencia actual lo constituye el desarrollo de los sistemas de brackets autoligados y la optimización del tiempo y calidad del tratamiento ortodóncico por medio del uso de fuerzas ligeras y baja fricción.

En este principio se basan los brackets autoligados, que como su nombre lo indica no requieren el uso de ligaduras como tal, en el entendido que este sistema permite el movimiento dentario con menos fricción ya que se elimina la fuerza del ligado como factor principalmente asociado a la mayor o menor cantidad de fricción producida durante el movimiento dentario.

Numerosos estudios ^{1,2,6,7,13,20,21,22,27,29} han demostrado una disminución significativa de la fricción de los brackets autoligados al compararlos con los brackets convencionales independientemente del tipo de ligadura usada. Sims⁶¹ encontró que producen 15 veces menos fricción, ya que requieren menos

fuerza para producir el movimiento, y que los dientes se deslizan libremente a través del arco por no presentar ningún tipo de sistema de ligadura.⁶¹

Por otra parte, Griffiths⁵⁶ en el 2005, encontraron que los brackets autoligados mostraron la más baja resistencia al deslizamiento en comparación con todas las combinaciones de brackets y tipos de ligaduras, siendo el único método para eliminar prácticamente toda la fricción.

IV.4 VARIABLES BIOLÓGICAS

Saliva

La saliva es un agente presente en la cavidad bucal, puede actuar como lubricante en forma de fluido denso que separa dos superficies en contacto al cubrir o rellenar las irregularidades superficiales en la interfase ABL, permitiendo un deslizamiento más suave y en consecuencia disminuyendo la fricción. Los estudios experimentales en algunos casos han sustituido la saliva humana por otros lubricantes como el agua destilada, la glicerina, el agua desionizada o la saliva artificial, según lo explica Smith⁵ y Michelberg²³.

Sin embargo, el papel de todas estas ha sido cuestionado por numerosos autores entre los que destacan Kusy ²², Mah ¹, y Michelberg ²³, quienes consideran que los sustitutos de la saliva, presentan un coeficiente de fricción mayor que la saliva humana, limitando así la validez y aplicación clínica de esos estudios.

Otros investigadores como Smith ⁵ coinciden en el hecho que la saliva humana es el material más apropiado si el estudio se va a realizar en condiciones de humedad, ya que es lo único que realmente puede simular las condiciones de la cavidad bucal.

Por su parte, Kusy, Lorenz, Thurrow y Backer citado por Mah¹, encontraron que un sustituto de la saliva denominado Xero-Lube, disminuye la fricción entre un 15 y 19%.

En contraposición a lo antes expuesto, Drescher ¹⁷ y Matasa²⁴ encontraron que la saliva juega un rol insignificante en la lubricación de las superficies de los arcos y brackets ya que el arco solo toca al bracket en dos puntos, creando presión que expulsa la saliva del área de contacto y por lo tanto no existe tal efecto lubricante. ⁵

Cuando se revisa el papel de la saliva en brackets de diferentes materiales, puede encontrarse que en condiciones de humedad tanto como en ausencia de ella, el coeficiente de fricción aumentó en brackets de porcelana cuando se comparó con los metálicos ¹, mientras que para Tiddy ⁴⁶ y Tanne ⁴⁷ la fricción aumentó en presencia de saliva artificial y disminuyó con la saliva humana.

Con respecto a los arcos ortodóncios, se encontró que los de beta titanio, el coeficiente de fricción disminuyó en 50% en condiciones de humedad ^{46,47,48}. Para Mah¹ la explicación de estos resultados estaría dada por la fuerza aplicada para colocar el aro en el bracket, y es así como con fuerzas ligeras la saliva actúa como lubricante, disminuyendo así la fricción, y con fuerzas pesadas al ser eliminada de la interfase ABL, se produce un aumento de la fricción.

Otras variables de naturaleza biológica como son la placa bacteriana, y la fuerza de la masticación, no han arrojado un valor significativo como factor determinante de la fricción, debido a la dificultad de realizar estudios in Vitro en relación a estas.

V. DISCUSIÓN

La fricción en ortodoncia es considerada un fenómeno complejo con carácter multifactorial¹³. Ninguno de los estudios revisados ha logrado analizar la acción conjunta de todas las variables y factores que intervienen, y la mayoría de los investigadores evalúan el efecto que tienen solo dos o tres de ellas, lo que dificulta explicar la influencia de todos los factores físicos y biológicos en una situación clínica determinada, limitando así la posibilidad de establecer comparaciones y conclusiones definitivas entre los estudios.

El estudio del fenómeno de fricción en ortodoncia se inicia a partir del año 1963 con los trabajos de Buck y col citados por Nanda¹³, pero es a partir de la década de los '70 y 80' cuando se intensifica y en esta etapa se le da importancia al calibre y el material de los arcos como variables altamente relacionadas con la fricción. Posteriormente, hacia los '90 los estudios se dirigieron a evaluar principalmente el material con que es confeccionado el bracket y ya para el año 2000 se hace énfasis en los sistemas de ligado debido al surgimiento de los brackets autoligados y el desarrollo de los brackets y ligaduras de baja fricción que como su nombre lo indica ofrecen la ventaja de

reducir la fricción para un movimientos más fisiológico, más rápido y con menos molestias al paciente.

La relación entre los diferentes tipos de ligado y la fricción es un punto muy discutido en Ortodoncia, y en este sentido, se han desarrollado diferentes tecnologías tendientes a lograr sistemas en los que se produzca una disminución de la fricción en la interfase Arco-Bracket - Ligadura.

El principio básico a considerar es la fuerza aplicada durante el proceso de ligado del arco al bracket, conjuntamente con el material de la ligadura y del método empleado para realizarla de tal manera que una forma de disminuir la fricción, sería la reducción de la fuerza de ligado, tal como lo reporta Fernández.³⁰

En este principio se basan los brackets autoligados, en el entendido que este sistema permite el movimiento dentario con menor fricción ya que se elimina la fuerza del ligado como factor principalmente asociado a la mayor o menor cantidad de fricción producida durante el movimiento dentario.

Cuando se analiza la relación de los brackets con la fricción, es importante resaltar que la tendencia actual es usar brackets más estrechos para disminuir la fricción, no solamente porque está asociada a un aumento de la distancia interbracket lo que se traduce en un aumento de la flexibilidad del arco sino que también se relaciona con una disminución de la carga porque la fuerza aplicada durante el proceso de ligado disminuye en estos brackets.

En el cuadro 4, puede verse el resumen comparativo del efecto de cada uno de los factores estudiados y su relación con la fricción.

Cuadro 4. Resumen comparativo entre las variables que afectan la fricción

	ALTA FRICCIÓN	BAJA FRICCIÓN
Ancho del bracket	Anchos	Estrechos
Material	Cerámicos	Acero Inoxidable
Proceso de fabricación de brackets	Colado	Sinterizado
Tipos de brackets	Convencionales	Autoligados
Autoligados	Activos	Pasivos
Diseño de brackets	Convencionales	Nuevos Brackets de baja fricción
Arcos de alambre	Niti	Acero Inoxidables
Tamaño y forma De los arcos	Rectangulares mayor calibre	Redondos pequeño calibre
Ligaduras	Metálicas ajustadas	Elastoméricas
Ligaduras	Elastoméricas/ Metálicas	Teflón/ Lubricadas Ligaduras sin fricción: <i>Slick, Slide</i>

VI. CONCLUSIONES

1. La fricción en ortodoncia es de naturaleza multifactorial, por lo que resulta difícil precisar cual es el o los factores determinantes en una situación clínica.
2. La reducción de la fricción en ortodoncia está asociado a movimientos dentarios más rápidos y fisiológicos.
3. El uso de brackets estrechos reduce la fricción en el sistema ABL.
4. Los brackets de acero inoxidable producen menos fricción que los de porcelana, pero si a estos se les incorpora una ranura de acero, los valores de fricción sí son similares.
5. Los brackets autoligados están asociados a menor fricción que los convencionales.
6. Los brackets denominados de “baja fricción” presentan menor fricción que los convencionales pero mayor que los autoligados.
7. La ligadura metálica ajustada produce una mayor fricción que la elastoméricas.
8. La fuerza de ligado es un factor directamente proporcional a la fricción.
9. Las ligaduras de baja fricción presentan niveles de fricción similares a los brackets autoligados.

10. Todos los arcos de alambre usados en ortodoncia, independientemente de su aleación, producen mayor fricción a medida que se aumenta el calibre.
11. Las aleaciones de acero son las que presentan menores niveles de fricción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mah E, Investigation of frictional resistance on orthodontic brackets when subjected to variable moments. Tesis mimeografiada. 2002.
2. Sefi E. Ligation properties of a self-ligating composite brackets: An in vitro study. Tesis mimeografiada. 2004
3. Davidovitch Z. Electric currents, bone remodelling and orthodontic tooth movement. Am. J. Orthod, 1980;77: 15-31.
4. Bagby M, Ngan P, Bovenizier T. Resistencia a la fricción de brackets cerámicos cuando se les somete a momentos de inclinación variables. The orthodontic cyberjournal, 2004. www.oc-j.com Consulta realizada el 11 de Enero de 2006.
5. Smith D. Frictional resistance evaluation of orthodontic brackets and archwires with sliding mechanics using quantified simulation of canine retraction. Tesis mimeografiada 2001.
6. Chimenti C. In vitro assessment of elastomeric chain behaviour. Progress in orthodontics, 2001; 2: 42-45.
7. O'Reilly D, Dowling A, Lagerstrom L. An ex vivo investigation into the effect of bracket displacement on the resistance to sliding. British Journal of Orthodontics, 1999; 26: 219-27.
8. Manduca E. Tesis mimeografiada. Efecto de los cambios de temperatura sobre la fricción hidrodinámica en arcos termoactivados durante el deslizamiento dental. 2001.
9. Linares O. Tribología y mantenimiento proactivo. Cap. 1 Generalidades de la tribología. Fundamentos de la lubricación, fricción y el desgaste. Widman Internacional. Tomado de www.widman.biz . Consulta realizada el 18 de Marzo de 2006.
10. Rodríguez J. Breve historia de la tribología. Revista Capacita. No. 1, Enero 2005.
11. German Hans. Tribología al día. No. 4, Marzo 2004.
12. www.tribology-abc.com Consulta realizada el día 2 de Febrero 2006.

13. Nanda R. Biomecánica en ortodoncia clínica. Editorial Médica Panamericana 1998.
14. De Leonardo Da Vinci a los nuevos hallazgos sobre la fricción. Obtenido en www.solociencia.com . Consulta realizada el 22 de Febrero 2006.
15. Frank C, Nikolai R. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. Am. J. Orthod, 1980;78: 593-609,.
16. Baker K, Nieberg L, Weimer A, Hanna M. Frictional changes in force values caused by saliva substitution. Am J Orthod Dentofac Orthop, 1987; 91:316-20
17. Drescher D, Bourauel C, Schumacher H. Frictional forces between bracket and archwire. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop,1989; 96: 397-04
18. Kuroe K, Tajiri T, Nakayama T, Nagakubo C, Kubota S, Matsuda T, Ito G. Frictional forces with the friction-free edgewise bracket. J Clinic Orthod, 1994; 6: 347-51
19. Taylor N, Ison k. Frictional resistance between orthodontic bracket and archwires in the buccal segments. The Angle orthod, 1996; 66: 215-22.
20. Dowling P, Jones W, Lagerstrom L, Sandham J. An investigation into the behavioural characteristics of orthodontic elastomeric modules. British J Orthod, 1998; 25: 197-02.
21. Chimenti C, Franchi L, Di Giuseppe M, Lucci M. Friction of orthodontic elastomeric ligatures with different dimensions. Angle Orthod, 2005; 75: 421-25.
22. Kusy R, Whitley J. Influence of fluid media on the frictional coefficients in orthodontic sliding. Semin Ortho, 2003; 9: 281-89.
23. Michelberger D. An Investigation of the Friction, Wear and Corrosion Properties of Orthodontic appliance. Tesis mimeografiada. 1999.
24. Matasa C. The edwise bracket vs friction. The orthodontic material insider, 1995; 8 : 7-14,.

25. Ji-Hoon Park, Yong-Keun Lee, Bum-Soon Lim, Cheol-We Kim. Frictional Forces Between Lingual Brackets and Archwires Measured by a Friction Tester. *The Angle Orthodontist*, 2004; 74: 816–824.
26. Thorstenson G. SmartCLip Self-ligating brackets frictional study. *Orthodontic Perspectives Vol. XII No1*
27. Thorstenson G, Kusy R. Effects of ligation type and method on the resistance to sliding of novel orthodontic brackets with second-order angulation in the dry and wet states. *The Angle Orthodontist*, 2002; 73: 418–430.
28. www.ledosa.com . Consulta realizada el 12 de Diciembre de 2005.
29. Tecco S, Festa F, Caputi S, Traini T, Di Lorio D, De Attilio M. Friction of conventional and selfligating brackets using a 10 bracket model. *Angle Orthodontist*, 2005; 75: 1041–1045.
30. Suarez D. Straight wire low friction: Synergy System. Tomado de www.rmortho.com/pdf/cn0404.pdf. Consulta realizada el 11 de Febrero de 2006.
31. Fernandes N, Leitao J, Jardim L. Influencia del tipo de bracket y angulaciones de segundo orden sobre la fricción. *Revista Portuguesa de Estomatología, Medicina Dentaria y Cirugía Maxilofacial*, 2005; 46: 21-27.
32. Valenzuela V, Pavic J. Respuesta dentaria a los movimientos ortodóncicos. Actualización de conceptos. *Rev Dent Chile*, 1993; 84: 85-92.
33. De Franco D, Spiller R, Von fraunhofer J. Frictional resistances using Teflón-coated ligatures with various bracket-archwire combinations. *The Angle Orthodontist*, 2003; 65: 63-72.
34. Sacerdoti R, Fortini A. A new low friction ligature system. *Ortho News*, 2006; 1: 1-4. Tomado de www.leone.it.com
35. Baccetti T, Franchi L. Friction produced by types of elastomeric ligatures in treatment with preadjusted appliance. *The Angle Orthodontist*, 2006; 76: 211-16.
36. Taylor N, Ison K. Frictional resistance between orthodontic brackets and archwires in the buccal segments. *The Angle Orthodontist*, 1996; 66: 215-22.

37. Clocheret K, Willems G, Carels C, Celis J. Dynamic frictional behaviour of orthodontic archwires and brackets. *Eur. Journ of Orthodontic*, 2004; 26: 163-70.
38. Kusy R. Orthodontic Biomaterial: From the past to the present. *The Angle Orthodontist*, 2002; 72: 501–512.
39. Graber T, Swain B. Ortodoncia Principios Generales y Técnicas. Buenos Aires Argentina: Editorial Médica Panamericana S.A. 1988.
40. Cash A, Good S, Curtis R, McDonald F. An Evaluation of Slot Size in Orthodontic Brackets—Are Standards as Expected? *The Angle Orthodontist*, 2004; 74: 450–453.
41. Inocencio F. Types of fixed orthodontics appliances. Tesis mimeografiada. Disponible en www.med.uwo.ca. Consulta realizada el 29 de Enero de 2006.
42. Esmaili S. Ligation properties of a self-ligating composite bracket: An in vitro study. Tesis mimeografiada. 2004.
43. Canut J. Panorama de la ortodoncia. Biografía singular del bracket idela. *Rev Esp Ortod* 1999, 29; 149-51
44. Cervera A, Simón M. Bases de diseño en las prescripciones de aparato fijo. *Rev. Esp Ortod*, 2005; 35: 229-42.
45. Kapila S, Angolkar P, Duncanson M, Nanda R. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontics wire of four alloys. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 1990; 98:117-126.
46. Tidy D. Frictional forces in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 1989;96: 44-53.
47. Tanne K, Matsubara S, Shibagushi T, Sakuda M. Wire friction from ceramic brackets during simulated canine retraction. *The Angle Orthodontist*, 1991; 61:285-92
48. Krishna V, Kumar J. Mechanical Properties and Surface Characteristics of Three Archwire Alloys. *The Angle Orthodontist*, 2003; 74: 825–831.

49. Bilbao J. Alambres de uso ortodóncio. Tesis mimeografiada. 1997.
50. Tselepis M, Brockhurst P, West V. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Ortho Dentofac Orthop*, 1994; 106: 131-8
51. Ogata R, Nanda R, Duncanson M, Sinha P, Currier G. Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections. *Am J Ortho Dentofac Orthop*, 1996; 109:535-42.
52. Harradine N. Self-ligating brackets: Where are we now?. *Journal of Orthodontics*, 2003; 30: 262-273.
53. Türkkahraman H, Ö Sayın, Bozkurt Y, Yetkin Z, Kaya S, Önal S. Archwire Ligation Techniques, Microbial Colonization, and Periodontal Status in Orthodontically Treated Patients. *The Angle Orthodontist*, 2004; 75: 231–236.
54. Taloumis L, Smith T, Hondrum S, Lorton L. Force decay and deformation of orthodontic elastomeric ligatures. *Am J Ortho Dentofac Orthop*, 1997; 111: 1-11
55. Haim M, Dhopatkar A, Rock P. The effect of ligation methods on friction in sliding mechanics. *Am J Ortho Dentofac Orthop*, 2003; 123: 416-22.
56. Griffith H, Sherriff M, Ireland A. Resistance to sliding with 3 types of elastomeric modules. *Am J Ortho Dentofac Orthop*, 2005; 127: 670-5.
57. www.OrthoOrganizers.com. Consulta realizada el 22 de Enero de 2006.
58. Redlich M, Mayer Y, Harare D, Lewinstein I. In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of “reduced friction” brackets. *Am J Ortho Dentofac Orthop*, 2003; 124:69-73.
59. www.gac.com Consulta realizada el 12 de Enero de 2006.
60. Damon D. The Damon low friction bracket: A biologically compatible straight wire system. *J Clin Orthod*, 1998; 32: 670-80.

61. Henao S, Kusy R. Evaluation of the frictional resistance of conventional and self-ligating bracket designs using standardized archwires and dental typodonts. The Angle Orthodontist, 2004; 74:202-211.

62. www.tportho.com Consulta realizada el 2 de Diciembre de 2005.

