

Universidad Autónoma de Nayarit

Unidad Académica de Odontología
División de Estudios de Posgrado e Investigación

ESPECIALIDAD EN ORTODONCIA



“Resistencia de los brackets de zafiro a las fuerzas de compresión, cizalla y torsión”

TESIS

Que para obtener el

DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN ORTODONCIA

Presenta:

C.D. Carolina López Erenas

Director: M.O. Rogelio Díaz Peña

Codirector: Dra. Gaby Esthela Tiznado Orozco

Asesor: M.S.P. Saúl Hernán Aguilar Orozco

Tepic, Nayarit
noviembre del 2016

ÍNDICE

I.	Resumen.....	3
II.	Introducción.....	5
	Brackets plásticos	6
	Brackets Cerámicos.....	6
	Tipos de brackets cerámicos.....	7
	Propiedades de los brackets	8
	Dureza.....	9
	Fragilidad y tenacidad a la fractura.....	9
	Propiedades mecánicas.....	10
	Compresión.....	12
	Cizalla.....	12
	Torsión.....	13
	Zafiro.....	17
	Nacimiento de la industria del zafiro en Estados Unidos.....	18
	Su uso en medicina.....	19
	Propiedades ópticas del zafiro.....	20
	Características mecánicas.....	21
	Justificación.....	22
	Planteamiento del problema.....	22
	Pregunta de investigación	23
	Objetivo general.....	23
III.	Material y métodos.....	23
IV.	Resultados.....	32
V.	Discusión.....	43
VI.	Conclusiones.....	46
VII.	Referencias bibliográficas.....	48
VIII.	Anexos.....	54

I. RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo con el propósito de determinar cuál es la resistencia de los brackets de zafiro a fuerzas de compresión, cizalla y torsión, siendo la muestra seleccionada de diferentes marcas para hacer la muestra más representativa y no dar cabida a pensar que al evaluar sólo una marca se presenten sólo los resultados de la misma.

Los brackets cerámicos se dividen, dependiendo de la manera en que sean fabricados, en policristalinos conocidos como porcelana y monocristalinos conocidos como de zafiro. Estos brackets han sido introducidos como alternativa estética para al tratamiento ortodóncico, el cual ha presentado un aumento en la demanda por parte del paciente adulto.

Mediante esta investigación se buscó obtener la respuesta a fuerzas que se pueden presentar durante el tratamiento ortodóncico o que son requeridas realizar para llevar a término una oclusión armoniosa.

El estudio es descriptivo, no experimental y transversal, utilizando una muestra de 120 brackets de zafiro de cuatro diferentes casas comerciales, divididos en 40 brackets de zafiro para premolares superiores a fuerzas de compresión, 40 brackets de zafiro para premolares inferiores a fuerzas de cizalla y 40 brackets de zafiro de incisivos inferiores a fuerzas de torsión, las marcas que se utilizaron fueron, LANCER, TD, Ah-Kim-Pech y American Orthodontics, con 30 brackets de cada una.

Las pruebas se llevaron a cabo en una máquina universal de pruebas Instron 4465 la cual arrojó los resultados, se tabularon, se sacó el promedio, desviación estándar, un mínimo y un máximo para cada prueba.

Debido a que se contaba con los datos de cada casa comercial a las diversas pruebas, se decidió realizar un análisis para comprobar si existían diferencias estadísticamente significativas entre ellas, dicho análisis se realizó con el programa estadístico ASA University Edition v3.5.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las pruebas de compresión para LANCER, siendo la menor de todas con un promedio de 226.73 N/mm^2 y en la prueba de cizalla la diferencia estadísticamente significativa fue a favor de American Orthodontics presentando un promedio de 143.56 N/mm^2 , siendo mayor que las demás.

En las pruebas de torsión no existió homogeneidad en las cuadradas de sus medias, por lo que, se realizó la prueba de Scheffe y se encontró que no existió diferencias estadísticamente significativas entre las casas comerciales, se observa poca diferencia entre los promedios de las marcas, siendo mayor TD con una media de 14.37 N/mm^2 .

Se concluyó que, en los resultados de una manera total la muestra de brackets de zafiro presentó resultados que se consideran adecuados aún en el límite para realizar el tratamiento ortodóncico y que dichos brackets son capaces de soportar las fuerzas a las cuales son sometidos durante este proceso.

II. INTRODUCCIÓN

Durante los años pasados, los ortodoncistas han tenido la necesidad del desarrollo de aparatología fija que sea más estética. El prospecto de paciente ortodóncico de hoy, especialmente el paciente adulto espera lograr una bonita sonrisa al final del tratamiento, pero está igualmente preocupado por su apariencia durante el mismo.¹

Debido al aumento de adultos buscando un cuidado ortodóncico y porque el ortodoncista siente la necesidad de proveer al paciente y en un intento por satisfacer esta necesidad de brackets más atractivos, se manufacturaron primeramente brackets metálicos más pequeños, otros desarrollaron los linguales o invisibles, brackets plásticos y en sus últimos intentos por satisfacer al mercado para tratamientos más estéticos han sido introducido los brackets cerámicos transparentes o translucientes.^{1,2}

Peláez y Mazza en 2015 realizaron un estudio de la necesidad de tratamiento ortodóncico en pacientes adultos dependiendo de la severidad de la maloclusión, determinada por medio del índice DAI; llevándose a cabo en el Hospital Universitario Odontológico de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional del Nordeste, donde detectaron que 70% de la población adulta estudiada presentaba una necesidad de tratamiento ortodóncico en grados diferentes de severidad de maloclusión, entre los cuales el 43% presentaba necesidad de tratamiento obligatorio por una maloclusión muy severa.³

Los materiales que se emplean para la fabricación de brackets se han clasificado en metales, cerámicos y plásticos de acuerdo a sus fuerzas de enlace covalente y de su estructura, estos tres materiales, por lo general suelen ser individuales pero en ocasiones se encuentran combinados. Sus propiedades difieren enormemente y todos los materiales que se utilizan tiene ventajas y desventajas.⁴

Brackets Plásticos

Los brackets plásticos se comercializaron por primera vez a inicios de 1970. En un inicio fueron fabricados de acrílico o de policarbonato y su aceptación por los ortodoncistas como una alternativa de los brackets metálicos fue de corta duración. Algunos problemas fueron detectados rápidamente, en estos las manchas y los olores, pero lo más importante o de mayor relevancia fue su falta de resistencia y rigidez que se reflejaba en problemas de unión, fracturas en la aletas y la deformación permanente.⁵

Los brackets con ranura de policarbonato se distorsionaban con el tiempo bajo un estrés constante, por lo que no eran capaces de soportar tratamiento de tiempos prolongados o para expresar torques, incluso hubo reportes de pérdida altamente significativa de torque con los brackets de policarbonato en comparación con los metálicos.⁶

Para compensar la falta de fuerza y rigidez de los brackets de policarbonato, se introdujeron con un refuerzo en el relleno de cerámica o de fibra de vidrio y cambiaron las ranuras por metálicas, las cuales demostraron significativamente menor rigidez en el deslizamiento que los de policarbonato convencional pero aún con problemas de torque.⁷

Brackets Cerámicos

Los brackets cerámicos fueron introducidos como parte de la aparatología estética en 1980, ofreciendo ventajas en términos de apariencia de los brackets metálicos. Estos cerámicos, a diferencia de los de plástico, podían soportar mejor las fuerzas ortodóncicas, ya que proporcionan mayor fuerza, más resistencia al desgaste, a la deformación y mejor estabilidad.⁶

Los brackets cerámicos se desarrollaron para mejorar la estética durante el tratamiento ortodóncico, sin embargo, se ha observado que tanto en lo clínico como en estudios experimentales in vitro, la eficacia del movimiento dental durante las mecánicas de

deslizamiento con brackets cerámicos es significativamente baja en comparación a la que muestran los brackets metálicos.⁸

Tipos de brackets cerámicos

Todos los brackets cerámicos que existen recientemente en producción están hechos de óxido de aluminio también llamado alúmina, los cuales confieren muchas ventajas como biocompatibilidad, resistencia a la temperatura y a cambios químicos y una fuerza de unión que es igual o mayor que la del acero inoxidable.^{9,10}

De ellos se encuentran disponibles dos tipos de brackets cerámicos en el mercado, y se clasifican de acuerdo a sus distintas diferencias durante su fabricación que son el de alúmina policristalino, y los de alúmina de un solo cristal o también conocidos como brackets de zafiro.^{9,10}

El proceso de manufacturación de los brackets de monocristalino da como resultado una estructura más pura, una superficie más lisa y una sustancia considerablemente más dura que en la fabricación de brackets de policristalino.¹¹

Varios estudios mostraron la confirmación de que en los brackets cerámicos se presentaba una fractura temprana durante el torque, aparte de que también mostraron un incremento en la fricción en comparación con los brackets metálicos.¹¹

Los brackets de policristalino están constituidos por cristales de óxido de aluminio que son fundidos a altas temperaturas, lo que va a permitir la producción simultánea de varios brackets, estos son los más comunes por la calidad del material y su producción que es relativamente fácil, en comparación con los monocristalinos.¹²

Los brackets de monocristalino constituyen una masa fundida a temperaturas muy elevadas, es decir a unos 2,100°C, con lo cual se forma un solo cristal de óxido de

aluminio que resulta en la fabricación de un solo bracket, debido a esto su producción es más costosa en comparación con los brackets de policristalinos. Esta técnica de fabricación ofrece ventajas como una menor incorporación de impurezas, dando mayor resistencia a la tracción y menor opacidad, por lo cual la hace particularmente estética.¹³

A diferencia de los brackets metálicos, los cerámicos pueden variar en resistencia a la fractura y la fuerza en función de la medida de rugosidad de la superficie, lo que a su vez afecta a las propiedades generales de fricción del bracket.¹⁴

Las cerámicas policristalinas, debido a su superficie más porosa, tienen mayor coeficiente de fricción que las cerámicas monocristalinas las cuales son comparables con los brackets metálicos, por su fabricación de moldeo por inyección o por fresado mecanizado con herramientas de diamante, da como resultado final la textura de la superficie más rugosa.¹⁴

Por lo tanto, el proceso de fabricación en sí desempeña un papel muy importante en la resistencia de una cerámica. La presencia de poros, el daño de mecanizado de la molienda y las grietas contribuyen a la reducción de la resistencia a la fractura de un bracket cerámico.¹⁵

Propiedades de los brackets

Las propiedades ópticas como la estabilidad del color de los brackets estéticos tiene implicaciones clínicas para la coincidencia de color a largo plazo con los dientes sobre los que están cementados, el calor, los ácidos, el oxígeno, las abrasiones, las enzimas y las radiaciones pueden causar la descomposición química de los brackets.¹⁶

En cuanto a la estabilidad del color en los brackets de cerámica, se ha informado que los brackets monocristalinos y policristalinos son resistentes a las manchas o la decoloración de cualquier sustancia química probable que se encuentren en la boca.

Pero a pesar de ello, los brackets de cerámica, estando en el ambiente oral, pueden ser afectados por los pigmentos con el té, café y vino.¹⁶

Los brackets cerámicos son famosos por sus propiedades físicas tales como la dureza y su resistencia a la degradación química y a altas temperaturas. Sus propiedades físicas son el resultado de su unión atómica, las cerámicas tienen una unión iónica y covalente, la cual es mucho más fuerte que las uniones metálicas.¹⁷

Los enlaces covalentes son del tipo más fuerte, y ocurre cuando los átomos de un elemento igual o diferente comparten electrones. Cuando se les aplica estrés, los cristales se fracturan de manera quebradiza debido a que las uniones no tienen planos de deslizamiento que son los que permiten la deformación plástica.¹⁷

Dureza

Una propiedad física muy importante de los brackets cerámicos es la dureza extremadamente alta del óxido de aluminio. Esto añade una ventaja significativa tanto a los brackets cerámicos monocristalinos como policristalinos sobre los brackets de acero inoxidable. Los brackets cerámicos son nueve veces más duros que los de acero inoxidable o que el esmalte, y la abrasión severa del esmalte por parte de los brackets cerámicos, si existen los contactos entre los dientes y los brackets cerámicos, puede ocurrir rápidamente.¹⁷

Fragilidad y tenacidad a la fractura

Se le llama fracaso frágil cuando el estrés alcanza niveles críticos y los enlaces interatómicos se rompen y el fallo del material ocurre, la resistencia a la fractura de la cerámica es de 20 a 40 veces menor a la del acero inoxidable, haciendo más fácil que se fracture el bracket cerámico a que lo haga el metálico.¹⁷

Los compuestos cerámicos, a diferencia de los metálicos, son susceptibles a la propagación de grietas causada por imperfecciones minuciosas o impurezas de los materiales. Las cerámicas de alta resistencia pueden fallar con relativa facilidad cuando las grietas o imperfecciones permiten concentraciones locales de tensiones.¹⁷

La tenacidad a la fractura del esmalte es menor que la de la cerámica y los brackets cerámicos unidos al esmalte tienen poca capacidad para absorber el estrés. La fractura del esmalte o la aparición de líneas de fractura durante la desunión está relacionada con la alta resistencia de unión de los brackets cerámicos y parece estar asociada con una carga de impacto súbita.¹⁷

La combinación de propiedades muy duras y quebradizas y alta resistencia de la unión lleva a informes de dos problemas significativos siendo uno de ellos la fractura del bracket específicamente durante la desunión y otra es la fractura de esmalte la cual puede ocurrir durante la función masticatoria, pero sobre todo durante la separación.¹⁷

La cerámica por naturaleza son entidades quebradizas, y la fractura siempre será una complicación. Sin embargo, otros refinamientos e innovaciones en la fabricación, así como técnicas de acabado tales como acristalamiento, tratamiento térmico controlado y sinterización para ayudar a reducir la rugosidad de la superficie y el tamaño del defecto podrían reducir potencialmente la susceptibilidad a la fractura.¹⁵

Propiedades mecánicas

El movimiento ortodóncico es el resultado de la aplicación de fuerzas por procedimientos mecánicos, por lo que cuando se procede al diseño de aparatos, es importante considerar y evaluar las fuerzas que se van a producir durante el tratamiento y saber si los dientes y los tejidos circundantes serán capaces de soportarlos.¹⁸

En la masticación, las estructuras del sistema estomatognático entran en función y tanto los dientes como las estructuras periodontales serán sometidas a fuerzas intensas y continuas, el contacto dentario llega a tener una duración aproximada de un segundo y en ocasiones suele incluso ser menor a este tiempo, las fuerzas que se presentan durante la masticación van de 1 a 2 kg en alimentos suaves y de hasta 50 kg si se mastica un objeto más duro.¹⁹

Cuando el diente es sometido a cargas considerables, el líquido hístico incomprensible va a evitar el rápido desplazamiento del órgano dentario dentro del espacio del ligamento periodontal, en lugar de esto, la fuerza se transfiere al hueso de sostén, que es el que se deformará como respuesta a la carga.¹⁹

Las fuerzas óptimas establecidas para los movimientos de inclinación son de 35 a 60 gramos, pero estos valores dependerán en gran medida del tamaño del diente, determinándose que los valores mas bajos pueden ser aplicados en los incisivos sobre todo en los inferiores puesto que son los dientes de menos tamaño; y los valores mas altos para los dientes posteriores especialmente lo molares superiores por las raíces múltiples.¹⁹

Las propiedades mecánicas de un material se relacionan a su respuesta cuando es cargado o deformado, que es cuando se encuentra sujeto a estrés o a una deformación, siendo la carga tensión, compresión o de cizallamiento y su magnitud puede ser constante con el tiempo o bien fluctuar continuamente.⁴

Las fuerzas ortodóncicas bajo oclusión son particularmente variables, la respuesta del material a dichas condiciones de carga puede ser deformación elástica, deformación plástica o fractura. Las propiedades mecánicas de importancia son fuerza, dureza, ductilidad y rigidez.⁴

Entre las fuerzas ortodóncicas clínicas simples clínicamente necesarias para los brackets se encuentran la compresión y la de cizalla, y dentro de las complejas se encuentra la torsión.²⁰

Compresión

La fuerza de compresión es aquella que se dirige a un cuerpo y trata de oprimirlo, reducir o modificar su posición.²¹ Las fuerzas de compresión se describen como la resistencia interna que ofrece el cuerpo cuando se encuentra bajo una carga que tiende a comprimir la estructura o acortarlo, la cual se calcula dividiendo la fuerza aplicada por el área transversal perpendicular a la dirección de la fuerza.²⁰

La resistencia a la compresión en los cerámicos puede llegar a ser comparable con la resistencia que ofrecen los metales. La alumina o corindón posee gran dureza, resistencia a la abrasión, pero baja resistencia a la tensión, flexión y fragilidad elevada, teniendo una fuerza compresiva de 1000-2800 MPa y un módulo de fractura de 140-160 GPa.²² Una de las propiedades que más distingue a la cerámica del metal es la habilidad de resistir la fractura, que es la propiedad conocida como tenacidad a la fractura.²³

Cizalla

Las pruebas de cizalla son aquellas que consisten en la resistencia que ejerce un cuerpo como respuesta a una fuerza cortante y que esta es tangencial a la superficie sobre la cual va a actuar.²⁴ Siendo la causa de que dos piezas contiguas se deslicen una en relación a la otra, a su plano de contacto en dirección paralela, tratando de cortar o desplazar un cuerpo en sentido vertical.²¹

Las fuerzas tangenciales o de cizallamiento son pruebas ideales para estudiar las resistencias de las uniones entre los materiales, su utilización puede llamar la atención

desde diferentes sectores ya que la utilización de estas solicitudes mecánicas están presentes en la fisiología de todo el complejo estomatognático.²⁵

Las pruebas de compresión y cizalla miden la resistencia del material a la aplicación lenta o estática de una fuerza, es decir la resistencia que tiene un material a la deformación plástica. La tenacidad a la fractura es la intensidad de estrés requerido para causar fractura en un material, es decir, es la medida de la capacidad del material para resistir un daño o fractura.⁴

Torsión

La fuerza de torsión se utiliza para probar piezas que serán sometidas a cargas de torsión como son ejes y herramientas giratorias. Esta fuerza se mide mediante un tensiómetro el cual dispone de una cabeza de torsión, que es el lugar donde se sujetara la muestra y se aplica el movimiento de torsión, mientras que el otro extremo de la muestra es sujetado por una cabeza de medición y un dispositivo de medición, que se encarga de medir el desplazamiento, y con los datos obtenidos puede trazarse una curva de esfuerzo-deformación, donde se puede valorar la resistencia y la tenacidad del material.²⁶

La inclinación o torque es un movimiento de rotación, el cual se obtendrá por medio de un doblar de 3er orden, provocando que el diente gire alrededor de su eje de rotación. La fuerza de torsión puede llegar a considerarse la de mayor importancia de las fuerzas producidas por asociación, la introducción de esta fuerza en ortodoncia ha logrado ampliar las posibilidades del tratamiento debido a que permitido movimientos de los órganos dentarios en sentido vestíbulo-lingual o palatal.²⁷

La inclinación es uno de los movimientos donde existe un mayor desplazamiento de la corona que el que existirá en la raíz del diente y se puede clasificar según donde se encuentre el centro de rotación, dividiéndose en inclinación incontrolada y controlada, siendo esta última un movimiento deseable, y se obtendrá aplicando una fuerza para

desplazar la corona en sentido bucolingual y la aplicación de un momento para mantener o controlar la posición del ápice radicular.¹⁸

El torque se expresa cuando a un arco rectangular se le aplica un doblez de tercer orden es decir, que es torsionado y se introduce dentro del slot del bracket que a su vez generara la rotación del diente debido a que se encuentra adherido al bracket en sentido vestibular o lingual dependiendo el torque que se requiera emplear.²⁷

El estrés que se presenta en el ápice para este movimiento es mínimo por lo que ayuda a mantener la integridad del mismo, el estrés se concentra en la porción cervical permitiendo con esto el movimiento dental oportuno. Este movimiento en ortodoncia podrá conseguirse con alambres rectangulares, que cuando son introducidos en el slot del bracket, debilitan parte del momento de rotación causado por la retracción dentaria.²⁸

Se define entonces el torque en ortodoncia como la fuerza que se produce al entrar en contacto el slot del bracket con un arco rectangular, provocando la rotación de la corona y de la raíz. El arco, al entrar en contacto con la pared oclusal y la pared gingival del slot, generara una rotación, lo cual producirá dos fuerzas que serán de igual magnitud, siendo paralelas pero en sentido contrario, a lo que podemos llamar cupla o par de fuerzas.²⁷

En la fuerza óptima del torque o bien la que se debe emplear para obtener un torque clínicamente fisiológico, Reitan dijo que un arco de .021x.025 genera una fuerza en el ápice de 130g, la cual podría generar cambios histológicos sin áreas de hialinización.²⁷

Burstone estableció que para un incisivo con una longitud de 13 mm el torque óptimo fisiológico va a variar entre 10 a 20 N/mm,²⁹ según Steyn la discrepancia de fuerza que actúa sobre el ápice radicular al comparar un torque con prescripción de 22° con otro de 7° es de 144gms.³⁰

El cristal sencillo de zafiro es más duro y más fuerte a la tensión que la alúmina policristalina. Sin embargo, la dureza del bracket no es signo de una ventaja clínica, ya que los brackets metálicos son suficientemente fuertes para soportar fuerzas ortodóncicas y pueden ser despegados sin mayor problema técnico o mecánico.³¹

Los brackets cerámicos son incapaces de unirse químicamente con adhesivos acrílicos y diacrilato debido a su composición de óxido de aluminio inerte, por lo cual para éstos se utiliza un agente de acoplamiento de silano para actuar como mediador químico entre la base del bracket y las resinas adhesivas. Esta interfase de unión resultó tener tanta fuerza del adhesivo con el esmalte pudiendo ocasionar daños de manera irreversible el esmalte.⁵

La Asociación Americana de Ortodoncia (AAO) se aseguró que sus ortodoncistas marcaran en su consentimientos informados sobre este posible daño al esmalte. Hoy en día se basa más en una retención mecánica en la mayoría de los brackets cerámicos, usando luz estándar o adhesivos de curados químicamente, sin la necesidad de utilizar agentes de unión especiales.⁵

La fragilidad de estos brackets pueden causar problemas cuando se retiran, su dureza natural puede causar abrasión a la dentición y el desgaste significativo del esmalte se ha visto en la superficie palatina de los incisivos superiores al entrar en contacto con los brackets de los incisivos inferiores en tan solo seis semanas.⁵

Siendo un gran avance la introducción de los cerámicos en los tratamientos ortodóncicos para el tratamiento dirigido en adultos. La aceptación por parte de estos pacientes no ha tenido precedentes en la práctica ortodóncica y han contribuido significativamente en la expansión y desarrollo de modalidades terapéuticas ortodóncicas contemporáneas.³²

Johnson realizó una investigación en 2005 donde comparó la resistencia a la fractura a fuerzas de tensión en aletas de brackets cerámicos, se probaron siete diferentes marcas

de los cuales seis eran policristalino y uno de monocristalino, con una muestra de 10 brackets para cada grupo.¹⁵

Obtuvo como resultado de dicha investigación que fue imposible fracturar la aleta del bracket de monocristalino, ya que la ligadura cedía y se rompía antes de lograr la fractura del bracket, fallando la ligadura a los 198.65 MPa. Dentro de los brackets policristalinos evaluados el que consiguió una mayor fuerza a la fractura soportó 124.03 MPa.¹⁵

Klocke y cols en 2005, realizó un estudio para evaluar la fuerza de unión entre brackets de monocristalino y policristalino mediante el uso de arco de plasma fotopolimerizable, por intervalo de curado de 1 segundo y luz alógena con curado de 10 segundos, mostrando una diferencia significativa siendo mayor la fuerza en los brackets de monocristalino de 19.85 MPa para el primer método y 22.94 MPa para el segundo y en los policristalino de 9.68 para el primero y 10.73 MPa para el segundo.³³

Flores y cols realizaron un estudio en 1989 donde evaluaron la fuerza de fractura de los brackets cerámicos con distintos tipos de ligadura, para la muestra utilizaron dos brackets de policristalino y dos de monocristalino, los resultados arrojaron que no se encontró diferencia significativa en resistencia a la fractura entre ellos con un resultado de $p < 0.05$.³⁴

Nishio y cols en 2009 realizaron un estudio donde evaluaron la resistencia de los brackets cerámicos a fuerzas de torsión, tres tipos de brackets cerámicos, tradicional, reforzado con slot metálico y slot de oro y los otros tres brackets de policarbonato, convencional, slot de acero y reforzados con relleno de cerámica y slot de acero.³⁵

Los resultados mostraron que el que mejor soportaba el torque eran los cerámicos con el slot metálico con una estadística significativa de $p < 0.01$, teniendo un resultado de 3528.1 g.mm, lo que indicó que este bracket era 45.54% mejor que el bracket cerámico convencional, que obtuvieron 2424.0 g.mm. En contraste, los brackets de policarbonato

mostraron en el estudio tener la más pequeña fuerza de resistencia, con un resultado de 1463.6 g.mm.³⁵

Rayes y cols. en 2011 hicieron una investigación para evaluar la fuerza a la fractura de brackets cerámicos sometidos a una fuerza de torsión por medio de un arco, la muestra consistía en cuarenta brackets de 4 diferentes marcas, todos policristalinos, dos tradicionales, uno con slot de oro y otro con slot metálico.³⁶

Obtuvo la mayor fuerza de fractura el cerámico tradicional InVu con un resultado de 8113.2 g.mm y siendo el último el cerámico con slot de oro Luxi II con un resultado de 488.58 g.mm. Y la prueba de Tukey's mostro que el InVu presentaba mayor resistencia a la fractura.³⁶

En otro estudio realizado por Hazer y cols en 2004, en diferentes brackets, metálico, policarbonato y policarbonato con slot metálico, encontró que debido a la viscoelasticidad de los brackets de policarbonato no son adecuados para proporcionar torque a los dientes. La mayor pérdida de torque que se obtuvo fue para los brackets de policarbonato, se debió a la deformación del slot, pero el slot metálico incorporado al bracket de policarbonato no tuvo el efecto anticipado, pero se considera a su vez algo positivo en cuanto de deceso de fuerzas y en consecuencia la reducción del riesgo de reabsorción radicular.³⁷

Zafiro

Tiempo atrás en el siglo pasado, los zafiros y rubíes tenían un valor como gemas del mismo nivel que los diamantes. Se empezaron a utilizar zafiros artificiales en joyería, pero a principios del siglo XX el zafiro empezó a jugar un papel muy importante en la ingeniería. En el presente es difícil encontrar una ciencia o tecnología en la cual este cristal no sea utilizado. La demanda por el zafiro crece año tras año, casi exponencialmente.³⁸

El zafiro también conocido como corundo, es el cristal natural de óxido de aluminio Al_2O_3 , es estable por lo que su temperatura de derretimiento es de $2050^{\circ}C$. Su dureza es de 9 en la escala de minerales de Mohs, ocupando el segundo lugar después del diamante. El corundo es claro y sin color. El zafiro natural tiene una variedad de colores.³⁹

Existe dos clases de artículos modernos hechos de zafiro que son el constructivo y funcional. El primero es usado para la creación de productos con alta estabilidad mecánica y el funcional tiene una estructura específica y propiedades, eléctricas, ópticas y térmicas. Estos zafiros son materiales comparativamente nuevos, por lo que la escala de su producción se compara desfavorablemente con la de los materiales tradicionales.³⁸

El zafiro es un cristal considerado de importancia por su combinación de excelentes propiedades ópticas y mecánicas.⁴⁰ Se debe enfatizar que el costo del zafiro utilizado en los sistemas técnicos complejos en muchas ocasiones suele ser tan alto como el de los elementos de zafiro.³⁸

En la actualidad la mayor parte de los zafiros artificiales son utilizados como material funcional. Por un largo tiempo el zafiro no fue considerado material científico como posible material constructivo por el hecho que el tratamiento era complicado y caro. Después de la aparición de una gran variedad de zafiros creados, este problema no fue relevante.³⁸

El zafiro se compara de manera favorable con metales, alloys y algunas cerámicas, por sus parámetros de trabajo significantes como estabilidad térmica, dureza, resistencia a la corrosión y densidad, así como disponibilidad y bajo precio por mayoreo del material.³⁸

Nacimiento de la industria del zafiro en Estados Unidos (E.U.)

No existía producción de zafiros en E.U. hasta que Europa cortó suministros a América para la elaboración de joyería en la 2da Guerra Mundial. El gobierno americano entonces

emitió contratos de desarrollo para que se iniciara la producción de zafiros la cual fue tomada por la compañía de Linde Air Products en Indiana en 1942, una de las ventajas que presentó Linde en la producción de zafiro fue que ellos eran los proveedores mayoritarios de gases industriales.³⁹

Después de la guerra, E.U. nuevamente no pudo competir con Europa en la producción de zafiro y a finales de 1940 Linde desarrolló un proceso para hacer estrellas de zafiro, el cual contenía agujas de dióxido de titanio. Esta planta en Indiana cerró en 1974, después de lo cual se concretó la industria del crecimiento de cristal en California y Washington.³⁹

Se empezó la producción de zafiro en 1960 con requerimientos de piezas más largas para aplicaciones como la armadura debido a sus propiedades de alta dureza y tenacidad. Se hizo énfasis en la adaptación del proceso de crecimiento de cristales para la producción de cristales de zafiro más largos.⁴⁰

En el centro de investigación de materiales y mecánica de la armada, Schmid y Viechnicki desarrollaron una técnica nueva del crecimiento de cristales, para la producción de bolas de zafiro a partir de masa fundida, a la cual denominaron primeramente como la técnica de gradiente de horno de Schmid-Viechnicki, su factibilidad se demostró haciendo crecer bolas de zafiro con diámetros de 5cm. En el año de 1972 durante la fase de comercialización se renombró a la técnica como el método de intercambio de calor (HEM).⁴⁰

Su uso en medicina

El zafiro puede ser insertado en el tejido humano, como estas piedras no reaccionan con los ácidos orgánicos y tejidos, son superiores a todos los materiales constructivos conocidos como inertes. A diferencia del oro y del platino, el cristal de corundo es dieléctrico.³⁸

Investigaciones medico-biológicas sacaron a la luz entre 1977 y 1983 que el zafiro no es tóxico para los humanos y no causa cambios en la funciones del sistema nervioso central, hígado, riñones, en el metabolismo de la proteína y la grasa y reacciones en general.³⁸

No posee efectos cancerígenos, mutagénicos, entre otros, no causa inmunodepresión ni ningún otro cambio en el sistema inmune. Aparte de otras condiciones, el rango de adaptación de los implantes en pacientes depende de la conformación de cristalográfico entre la estructura del implante y el componente mineral del tejido óseo. Pruebas bioquímicas y biomecánicas de los implantes hechos de cristales con diferentes parámetros de redes mostraron las ventajas del zafiro.³⁸

Propiedades ópticas del zafiro

La refracción es un fenómeno en el cual se presenta como un rayo sonoro o luminoso cuando incide de manera oblicua sobre una superficie de separación de dos medios, y en ella se presenta un cambio de dirección y velocidad. Esta velocidad va a depender del medio que vaya atravesar, en lo cual se vuelve más lenta si es mas denso el material y viceversa.⁴¹

En el zafiro el índice de refracción del rayo ordinario es más alto que en la mayoría de los materiales ópticos, esto es causado por empaquetamiento de iones de oxígeno en la red y por la polarización iónica.³⁸

El zafiro es un cristal uniaxial ópticamente negativo, que tiene una dirección a lo largo del eje óptico en el que no se produce la birrefringencia y el índice de refracción del rayo extraordinario es menor que la del rayo ordinario.³⁸

Reflexión: el coeficiente de reflexión de una superficie pulida de zafiro es de $n= 1.768$ es igual a 7.8%, la reflexión depende esencialmente de la longitud de onda y el estado de la superficie, la cual presenta cambios con los tratamientos mecánicos y térmicos.³⁸

Absorción: el coeficiente de absorción del zafiro es dependiente de la temperatura.³⁸

La luminiscencia del zafiro es causada por las impurezas o defectos en la red. Varias bandas de luminiscencia débiles se pueden observar en el zafiro y su intensidad depende del tipo de impureza.³⁸

Características mecánicas

Dureza: de acuerdo a la escala de minerales de Moh's es igual a 9, el valor en la mediación de acuerdo al 1.

Coeficiente de fricción

La fuerza de tensión en el zafiro es de 275-400 MPa y la fuerza de flexión es de 450-895 MPa y la fuerza de compresión es de 2 GPa.³⁸

JUSTIFICACIÓN

Actualmente la demanda por parte de la población adulta en el tratamiento ortodóncico va en aumento, por lo cual se han buscado alternativas estéticas para llevarlo a cabo, ya que suele ser una de las principales peticiones de estos pacientes, se encuentran referencias que la necesidad de tratamiento en adultos alcanza hasta el 70%.

Diversos materiales han sido utilizados para la elaboración de brackets, buscando cumplir con requerimientos clínicos como el soportar fuerzas ortodóncicas empleadas a lo largo del tratamiento. Por esto se pretende evaluar si los brackets de zafiro son una buena opción de aparatología fija estética, midiendo la capacidad a resistir fuerzas a los que pudieran estar sometidos los brackets durante el tratamiento ortodóncicos como son las fuerzas de compresión, cizalla y torsión.

Para así poder ofrecer tratamientos estéticos, aunado a evitar tratamientos prolongados y de mayor costo para el operador debido a fracturas que se puedan presentar en los brackets y la necesidad de cambiarlos para terminar el tratamiento ya que son incapaces de soportar dichas fuerzas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La consulta ortodóncica ha presentado un aumento en la demanda de tratamiento en adultos, dando como resultado un incremento en la necesidad de elaboración de brackets estéticos, extendiendo en el mercado la venta de brackets cerámicos. Ortodoncistas reportan en su consulta una alta frecuencia de fracturas durante el tratamiento ortodóncico en el uso de los mismos.

En la actualidad existe una tendencia en la fabricación de brackets con zafiro ofreciendo ventajas estéticas sobre los de porcelana. Pero existiendo la preocupación de que no sean capaces de soportar fuerzas que puedan presentarse durante el tratamiento o la masticación.

PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Cuál es la resistencia de los brackets de zafiro a las fuerzas de compresión, cizalla y torsión?

OBJETIVO GENERAL

Determinar la resistencia de los brackets de zafiro de cuatro casas comerciales a pruebas de compresión, cizalla y torsión.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

Tipo de estudio:

Descriptivo, no experimental y transversal

Universo:

El universo consistió en brackets de zafiro de cuatro diferentes casas comerciales de venta en México.

Criterios de inclusión:

- Brackets de zafiro, de cuatro casas comerciales de venta en México.
- Brackets de zafiro para premolares superiores donde se evaluó las fuerzas compresivas.
- Brackets de zafiro para premolares inferiores donde se evaluó las fuerzas de cizalla.
- Brackets de zafiro para incisivos inferiores donde se evaluó las fuerzas de torsión.

Criterios de exclusión:

Brackets de zafiro que presentaron fracturas o alteraciones en su fabricación previo a cualquier manipulación por parte del operador del estudio.

Criterios de eliminación:

Los brackets que durante la preparación previo a las pruebas sufrieron fracturas.

Los brackets que durante la manipulación para el montaje en acrílico previo a las pruebas, la resina cubrió mas allá de la base, es decir que abarcara parte del cuerpo del bracket.

Variables:

Anexo 1. Tabla de operacionalización de variables.

Muestra:

El tamaño de la muestra se seleccionó a conveniencia, se seleccionaron casas comerciales que operan en México y manejan dentro de su catálogo los brackets de zafiro:

30 Brackets Intrigue Whisper Z de la casa comercial LANCER

30 Brackets Premium Zafiro de la casa comercial TD

30 Brackets Crystall Ize Sapphire de la casa comercial Ah-Kim-Pech

30 Brackets Radiance Plus de la casa comercial American Orthodontics.

Método:

Se seleccionó las muestras de los brackets de zafiro de acuerdo a las casas comerciales de venta en México y se realizó la recolecta de los mismos para llevar a cabo las pruebas. (Figura 1 y 2)

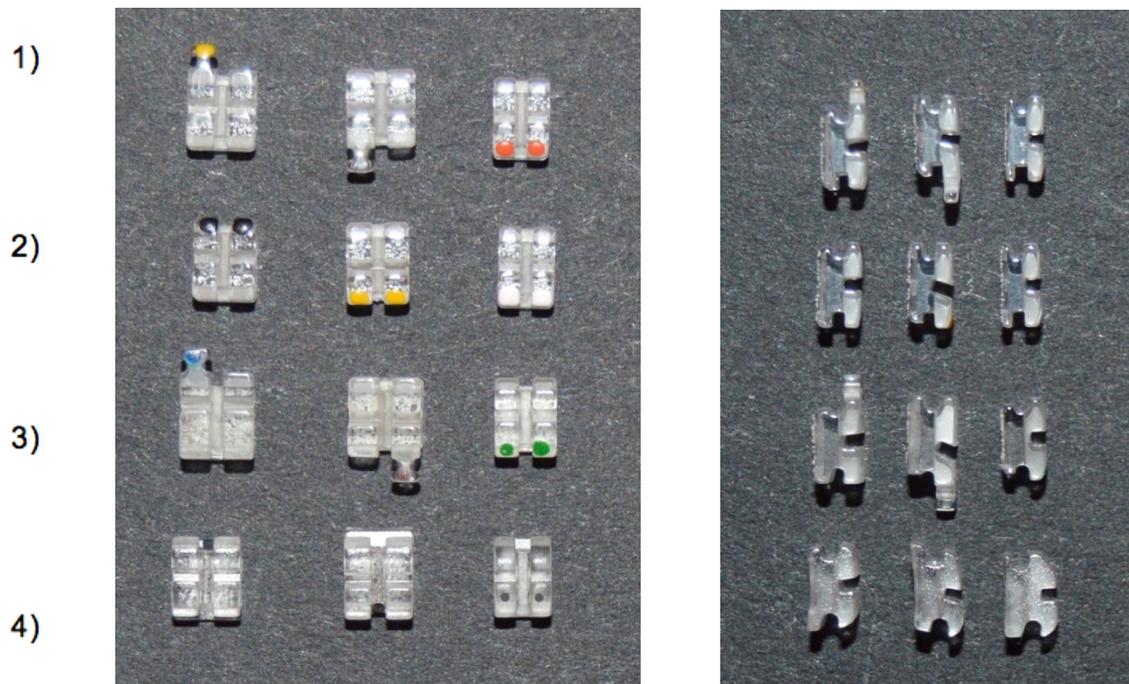


Figura 1. Vista frontal de los brackets. Figura 2. Vista lateral de los brackets.

1) LANCER. 2) TD. 3) Ah-Kim-Pech. 4) American Orthodontics

El investigador se encargó de realizar 120 bloques de acrílico, realizó un molde de silicona para vaciar el acrílico y reutilizar el molde; se seleccionó un color de acrílico para cada casa comercial e impedir confusiones al momento de realizar las pruebas. Una vez que se obtuvo los bloques de acrílico, fueron pulidos con polycril para evitar que tuvieran interferencia en su superficie y se vieran afectadas las pruebas, después se les realizó una retención en el centro del bloque con una fresa de fisura de carburo 330, esta retención tenía una profundidad de 2 mm y la extensión era del tamaño de la base de cada uno de los diferentes brackets.

Se colocó bond de Transbond XT de la compañía 3M y después se rellenó la retención con resina, se colocó bond también a cada uno de las bases de los brackets, se colocó en la resina y se retiraron excedentes cuidando que la resina cubriera la totalidad de la base del bracket sin abarcar el cuerpo de éste.

Se empaquetaron para su traslado a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) con papel burbuja en una caja de tal manera que los bloques no contactarán entre sí y evitar fractura de los brackets.

Se realizaron las pruebas establecidas en la máquina universal de pruebas Instron 4465 con ayuda del encargado de laboratorio. (Figura 3)



Figura 3. Máquina Instron 4465.

Para las pruebas de compresión y cizalla sólo fue necesario adaptar la posición de los dispositivos de sostén de la máquina y que esta ejerciera la fuerza en forma descendente.(Figura 4 y 5)

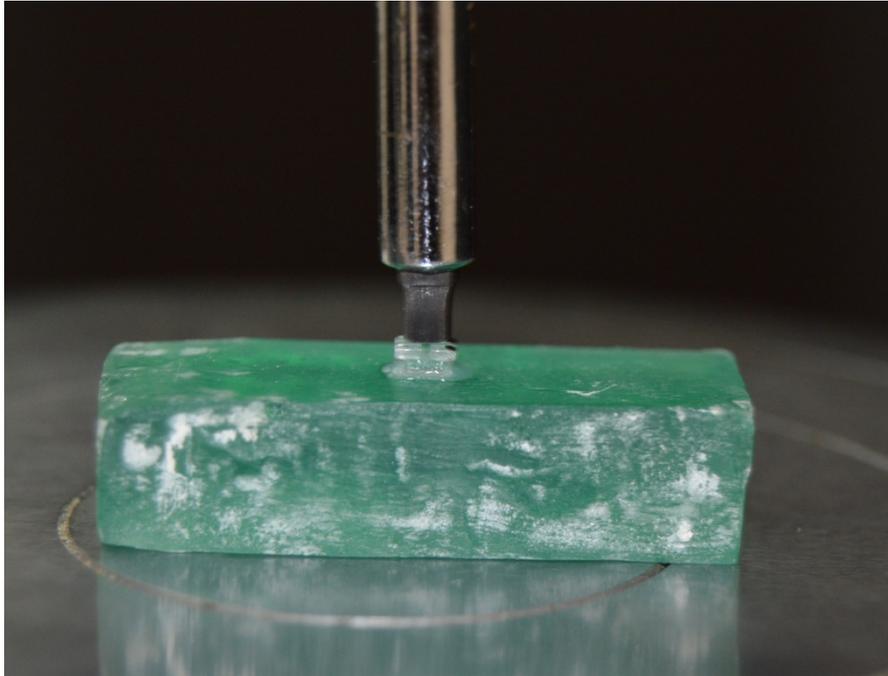


Figura 4. Prueba de compresión.

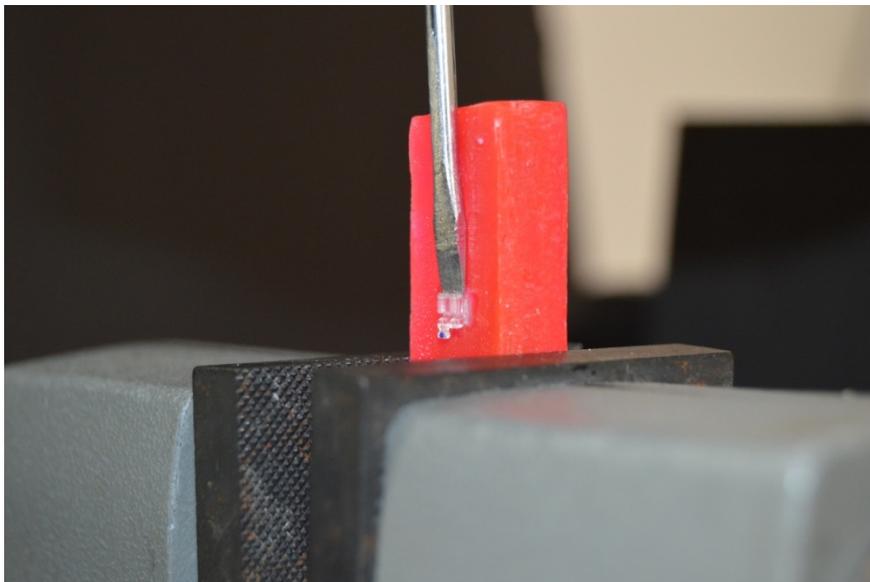


Figura 5. Prueba de cizalla.

Para realización de las pruebas de torsión del slot del bracket, se configuró una “u” (Figura 6) con alambre .019x.025 teniendo cada una de las extensiones una longitud de 6mm (Figura 7), aproximadamente la distancia interbracket que existe en boca.



Figura 6. “U” de alambre de acero .019x.025.

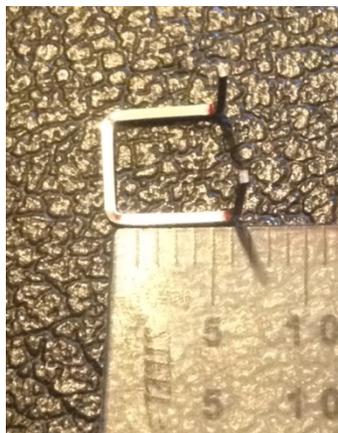


Figura 7. “U” de alambre de acero con extensión de 6mm.

Se realizó una extensión hacia arriba para evitar que al momento de estar llevando la prueba a cabo se resbalara el aditamento de la máquina Instron y no se obtuvieran los resultados. (Figura 8, 9 y 10)



Figura 8. Bracket montado para prueba de torsión vista lateral.



Figura 9. Brackets montado para prueba de torsión vista oblicua.



Figura 10. Prueba de torsión.

- **Manejo de datos**

Recolección de datos:

Los datos arrojados por el software utilizado por la máquina Instron, fueron transcritos al programa de Microsoft Office Excel 2016, se designaron celdas para los casos, y para cada una de las pruebas de las diferentes casas comerciales.

Tabulación:

Una vez obtenidos los resultados que arrojó la máquina universal de pruebas Instron 4465, se transcribieron en una tabla de recolección de datos, los casos, es decir el número de muestras que se realizaron así como las resistencias que mostraron los brackets a las pruebas de compresión, cizalla y torsión. (Anexo 2)

Manejo Estadístico

Se calculó la media y la desviación estándar del total de de las muestras de cada una de las pruebas sin distinción de marcas, para sacar la resistencia del bracket de zafiro en general, siendo la muestra de esta manera más representativa.

Para el análisis estadístico se calculó la media y desviación estándar de cada una de las pruebas de cada casa comercial para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las marcas realizando un prueba de análisis de varianza (ANOVA).

- **Organización**

Programa de trabajo:

Se definió y seleccionó el tema con asesoría del director de tesis en el mes de octubre del 2015; se inicio con la recopilación de información necesaria para la realización del marco teórico del anteproyecto en el mes de noviembre del 2015; se hizo la redacción de la información en los meses de diciembre del 2015 y enero del 2016; se inició el diseño del protocolo entre los meses de febrero a mayo del 2016; se realizaron las cartas para

solicitud de patrocinio en mayo de 2016; se obtuvo el total de la muestra de brackets en agosto del 2016; el traslado del investigador a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla se llevo a cabo en octubre 2016; se hizo recolección de datos y análisis de los mismos en noviembre del 2016 y se entregó la tesis en el mismo mes. Se anexa diagrama de Gantt para el anteproyecto. (Anexo 3)

Recursos humanos:

Tesista, director de tesis, co-director de tesis, encargado de laboratorio de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, asesor para análisis estadístico .

Recursos materiales:

- Brackets de zafiro
- Bloques de acrílico
- Resina Transbond XT de 3M
- Lámpara Valo de la casa Vamasa
- Maquina Instron 4465
- Alambre rectangular .019x.025
- Ligadura metálica No.9
- Laptop Mac ProBook
- Tabla de recolección de datos Excel 2016
- Paquete de datos para análisis estadístico ASA University Edition v3.5

Presupuesto y financiamiento:

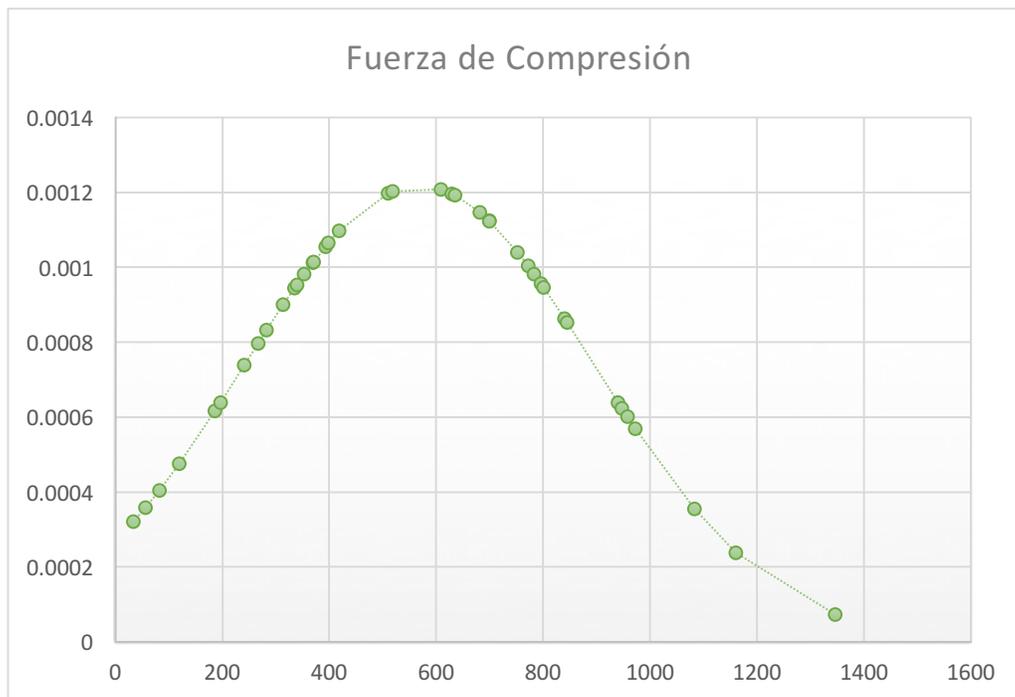
Los brackets de zafiro de 3 casas comerciales fueron obtenidos por medio de una carta de solicitud de patrocinio, y una de las casas por medio de la carta ofreció descuento en la adquisición de los brackets, que fueron cubiertos por el investigador.

Los gastos de traslado y manutención del investigador a la ciudad de Puebla para la realización de las pruebas en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla fueron cubiertos por el investigador.

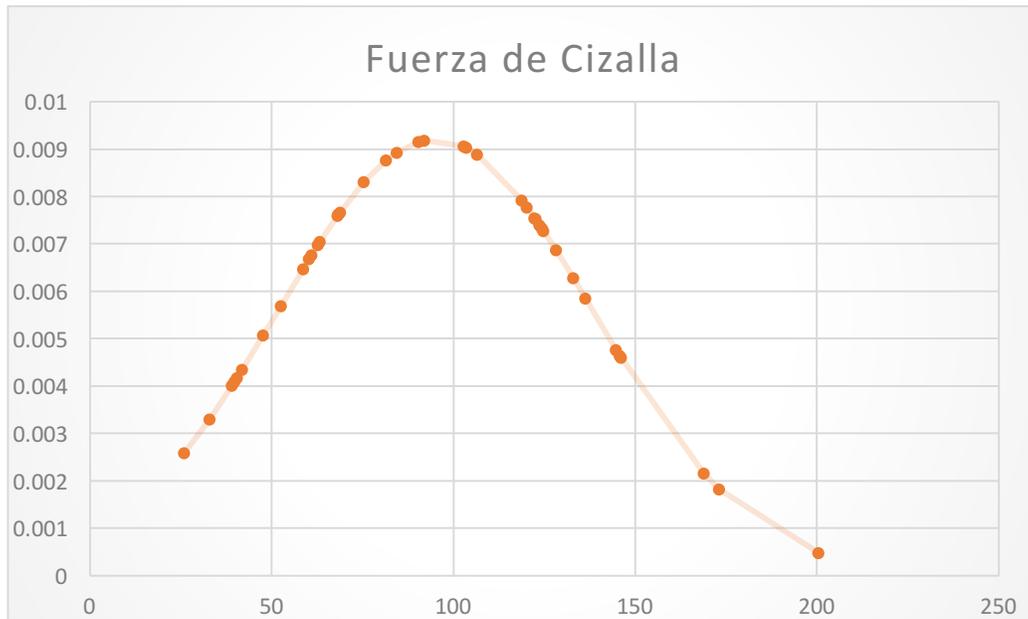
IV. RESULTADOS

En las campanas de Gauss se puede observar el comportamiento que tuvieron los brackets de zafiro en la muestra total (Gráfica.1, 2, 3), sin hacer distinción de marcas, y la distribución que presentaron de acuerdo a su media. Después se obtuvo la media y la desviación estándar para cada una de las fuerzas que fueron evaluadas, la fuerza de compresión presentó una media de 568.503 N/mm^2 , en la fuerza de cizalla la media fue de 95.091 N/mm^2 , y en la fuerza de torsión se obtuvieron resultados en la media de 13.193 N/mm^2 (Tabla.1)

Gráfica 1 Campana de Gauss del grupo de brackets sometidos a fuerzas de compresión



Gráfica 2. Campana de Gauss del grupo de brackets sometidos a fuerzas de cizalla



Gráfica 3. Campana de Gauss del grupo de brackets sometidos a fuerzas de torsión

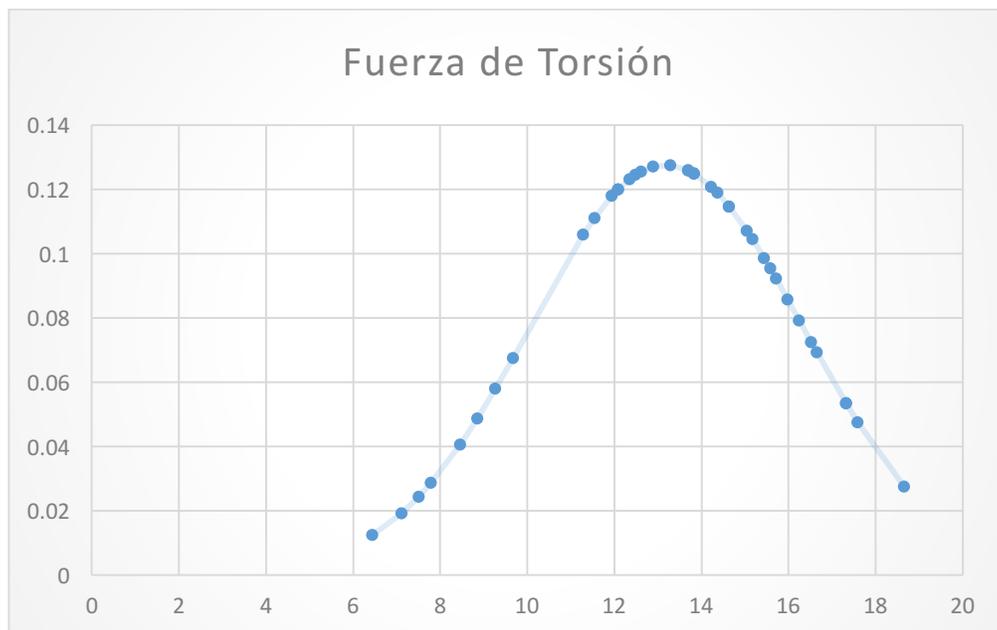
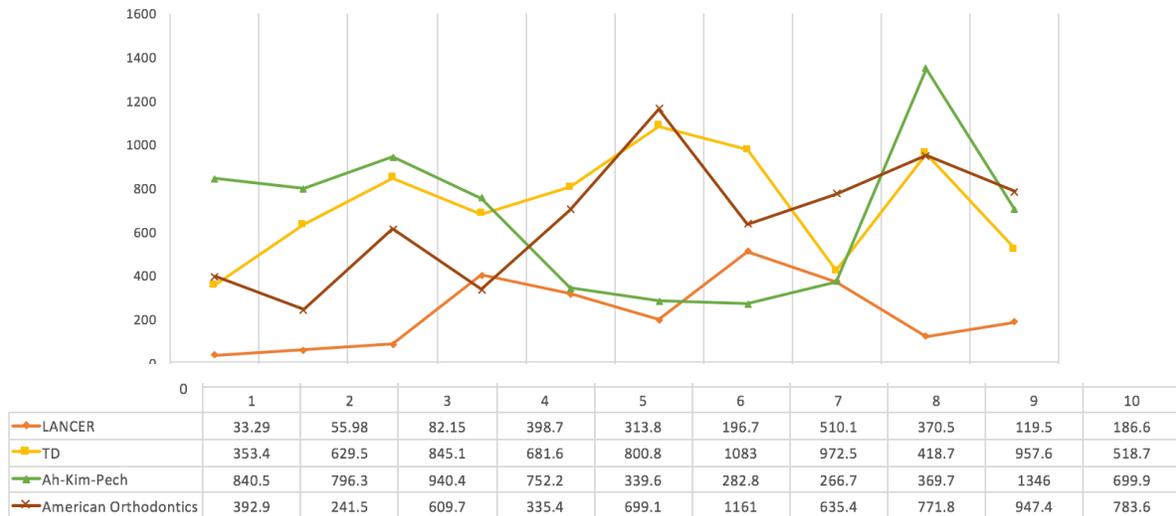


Tabla 1. Medias de los tres grupos de brackets sometidos a las fuerzas evaluadas

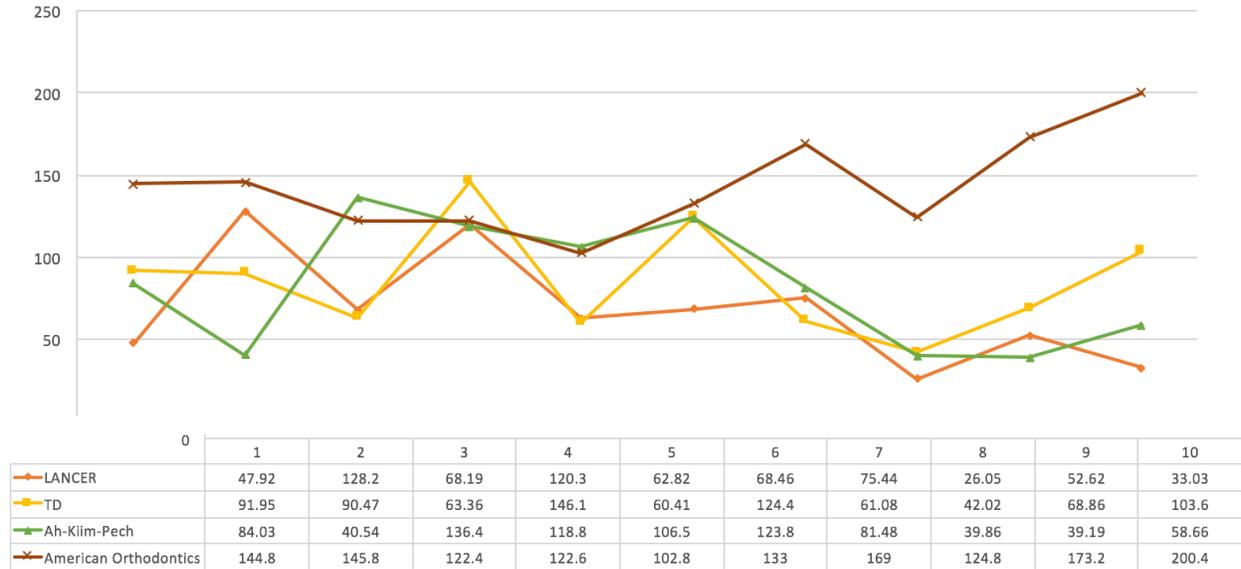
Total de la muestra	Prueba	Media	Desviación estándar
40	Compresión	568.503	327.65
40	Cizalla	95.091	43.342
40	Torsión	13.193	3.125

En las siguientes gráficas se observa cómo se comportaron cada uno de los brackets de zafiro de las diferentes marcas que fueron sometidos a fuerzas en la máquina universal de pruebas, pudiéndose observar que en las pruebas de compresión LANCER presenta la mayor estabilidad en sus diez pruebas (Gráfica.4) en la prueba de cizalla American Orthodontics presentó menor variabilidad en sus resultados (Gráfica.5) y la prueba de torsión se observa mayor semejanza en el comportamiento del total de la muestra en TD.

Gráfica 4. Resultados de las diferentes marcas sometidos a fuerzas de compresión



Gráfica 5. Resultados de las diferentes marcas sometidos a fuerzas de cizalla



Gráfica 6. Resultados de las diferentes marcas sometidos a fuerzas de torsión



Se determinó media y desviación estándar de cada una de las pruebas por marca, así como la mínima y la máxima (Tabla.2, 3 y 4). Se realizó una prueba de análisis de varianza con el programa de análisis estadísticos ASA University Edition v3.5, para determinar entre marcas, si los resultados obtenidos por la Instron eran estadísticamente significativos y si una marca predominaba en los resultados.

Tabla 2. Resultados de las fuerzas de compresión por casa comercial

Marca	Mínima	Media	Máxima	Desviación estándar
LANCER	33.29	226.73	510.1	163.16
TD	353.4	726.09	1083	247.015
Ah-Kim-Pech	266.7	663.41	1346	348.68
American Orthodontics	241.5	657.78	1161	282.41

Tabla 3. Resultados de las fuerzas de cizalla por casa comercial

Marca	Mínima	Media	Máxima	Desviación estándar
LANCER	26.05	68.30	128.2	33.44
TD	42.02	85.22	146	32.42
Ah-Kim-Pech	39.86	82.97	136.4	89.41
American Orthodontics	102.80	143.88	200.4	29.38

Tabla 4. Resultados de las fuerzas de torsión por casa comercial

Marca	Mínima	Media	Máxima	Desviación estándar
LANCER	8.46	11.32	14.64	2.16
TD	11.28	14.37	18.66	2.15
Ah-Kim-Pech	9.54	14.23	17.59	2.36
American Orthodontics	7.51	10.55	17.32	4.44

Al realizar el Análisis de Varianza, F dio resultados de 0.0006 para las fuerzas de compresión, <0.0001 para pruebas de cizalla y de 0.0158 para las fuerzas de torsión, demostrándose que si existen diferencias estadísticamente significativas entre las casas comerciales (Tabla.5).

Tabla 5. Resultados estadísticos de ANOVA

Fuerza	F	Significancia
Compresión	0.0006	Si
Cizalla	<0.0001	Si
Torsión	0.0168	Si

Después se realizó un Test de Levene para comprobar si existía homogeneidad en las cuadradas de las medias de ANOVA teniendo que salir un resultado mayor a 0.15 para establecer que este era positivo y determinar si la ANOVA era confiable, dando positivo en las fuerzas de compresión con una F de 0.1763, cizalla con resultados de 0.8094 y dando negativo en el de torsión con un resultado de <0.0001 por lo cual no existe homogeneidad en esta última fuerza (Tabla.6).

Tabla 6. Resultados de homogeneidad de las medias de las cuadradas por fuerzas

Fuerza	F	Homogeneidad
Compresión	0.1763	Si
Cizalla	0.8094	Si
Torsión	<0.0001	No

Se realizó una prueba de Tukey para establecer cuál es la casa comercial que presentó significancia por encima de las demás, en las pruebas de compresión y cizalla ya que estas son las que presentaban resultados positivos en el test de Levene (Tabla.7,8)

Tabla 7. Resultados de prueba de Tukey a fuerzas de compresión

Casas Comerciales	LANCER	TD	Ah-Kim-Pech	American Orthodontics
LANCER		0.0011	0.0046	0.0052
TD	0.0011		0.9543	0.9409
Ah-Kim-Pech	0.0046	0.9543		1.0000
American Orthodontics	0.0052	0.9409	1.0000	

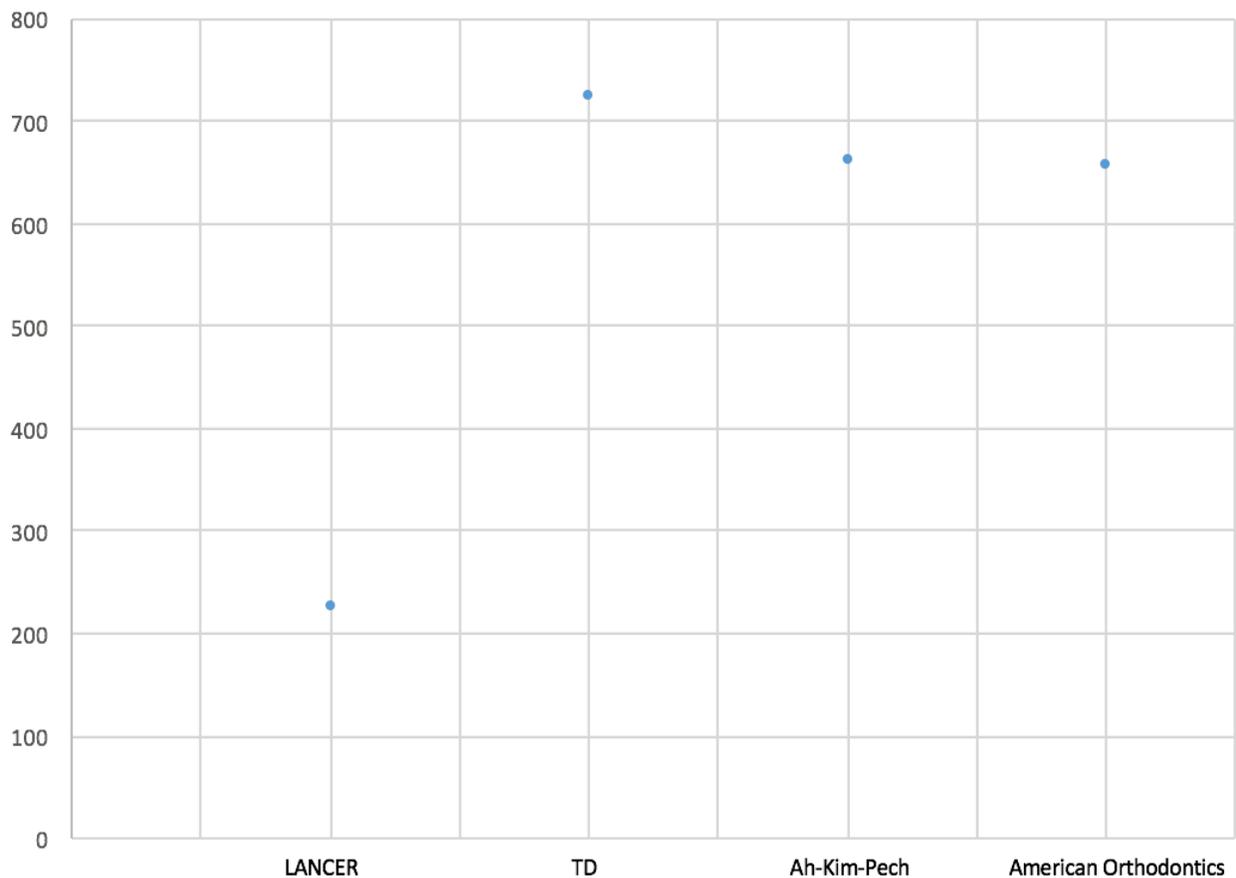
Tabla 8. Resultados de prueba de Tukey a fuerzas de cizalla

Casas comerciales	LANCER	TD	Ah-Kim-Pech	American Orthodontics
LANCER		0.6686	0.7578	<0.0001
TD	0.6686		0.9987	0.0019
Ah-Kim-Pech	0.7578	0.9987		0.0013
American Orthodontics	<0.0001	0.0019	0.0013	

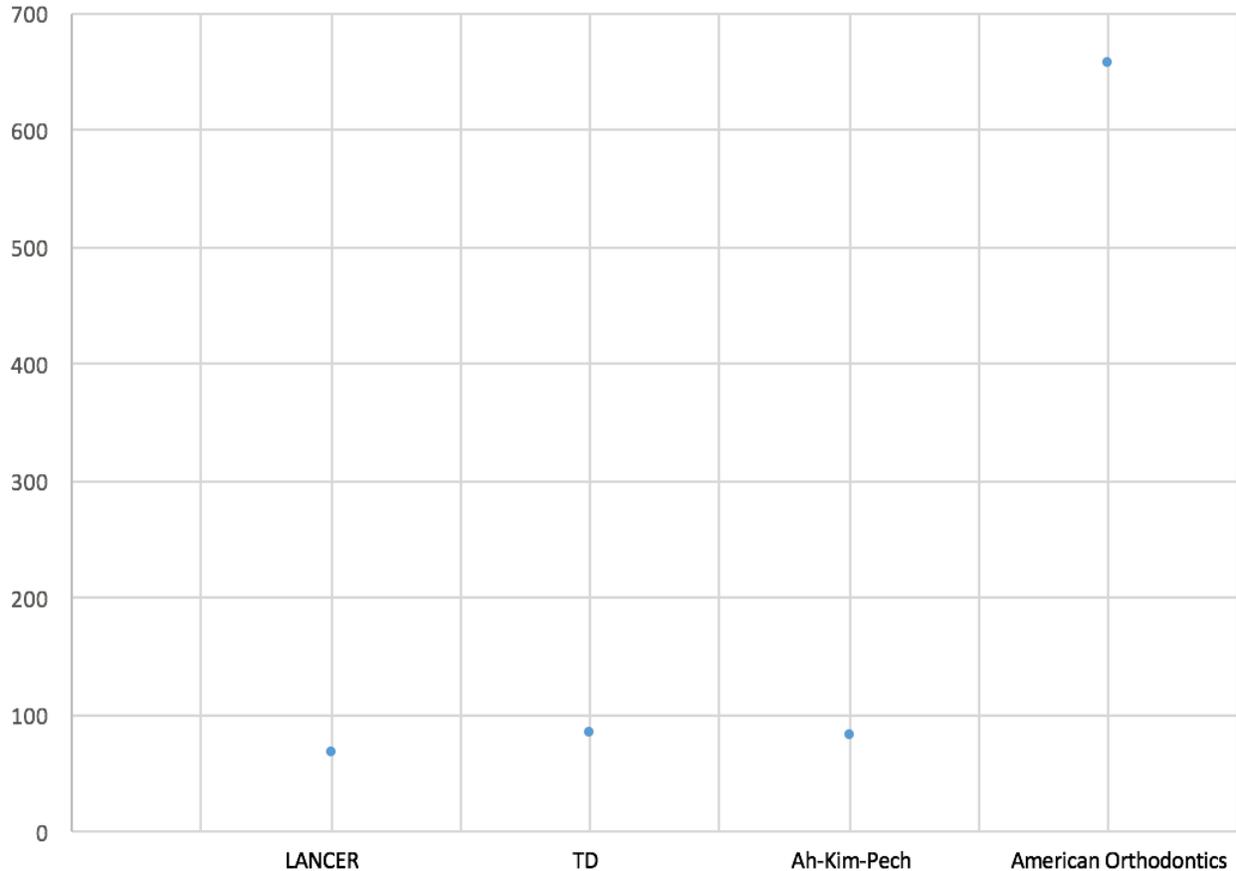
Se percibió que la casa que presentaba diferencias significativa fue LANCER contra todas demás, observándose que esta presentaba menor resistencia a la compresión que las demás marcas, las cuales se comportaban parecidas entre sí. (Gráfica.7)

En la prueba de cizalla se distinguió que había diferencia significativa entre American Orthodontics y las demás marcas, observándose que esta presentaba mayor resistencia que las demás (Gráfica.8)

Gráfica 7. Resultados de fuerza de compresión, LANCER con diferencia estadísticamente significativa



Gráfica 8. Resultados de fuerza de cizalla, American Orthodontics con diferencia estadísticamente significativa



En la prueba de torsión se realizó la prueba de Tukey aunque el test de Levene decía que no existía homogeneidad en las medias cuadradas de las fuerzas, en el resultado no se encontraron diferencias estadísticamente significativas como lo había marcado ANOVA, se decidió entonces llevar a cabo una prueba de Scheffe para establecer cuál es la casa comercial con la diferencia significativa ya que esta prueba no toma en cuenta la homogeneidad de las medias de las cuadradas, encontrándose que igualmente no existían diferencias (Tabla.9), suponiendo que se obtuvo este resultado por la falta de homogeneidad.

Resistencia de los brackets de zafiro a las fuerzas de compresión, cizalla y torsión

Tabla 9. Resultados de fuerzas de torsión a prueba de Scheffe

Casas Comerciales	LANCER	TD	Ah-Kim-Pech	American Orthodontics
LANCER		0.0873	0.0852	0.9516
TD	0.0873		1.000	0.2468
Ah-Kim-Pech	0.0852	1.000		0.2422
American Orthodontics	0.9516	0.2468	0.2422	

V. DISCUSIÓN

Studart y cols en 2006 dijeron que la resistencia a la compresión en los cerámicos puede llegar a ser comparable con la resistencia que ofrecen los metales; el corindón presenta una fuerza compresiva de 1000-2800 MPa.⁴² Una de las propiedades que más distingue a la cerámica del metal es la habilidad de resistir la fractura, que es la propiedad conocida como tenacidad a la fractura.²³ Realizando la conversión es de 1000-2800 N/mm², siendo la fuerza que posee el corindón sin ser procesado para la fabricación de brackets. No se encontraron resultados de fuerzas compresivas en brackets cerámicos en la literatura, por lo cual no es posible comparar los resultados obtenidos en nuestro estudio a fuerzas compresivas que fueron de 568.503 N/mm².

En la literatura, sólo se encontraron resultados de pruebas a fuerzas de cizalla en adhesivos, mientras que en esta investigación se buscó la resistencia a la fractura de los brackets de monocristalino a fuerzas de cizalla y no al adhesivo utilizado, suponiéndose que si la resistencia a la fuerza de fractura es mayor; ocurriría primero el fallo en la unión esmalte/adhesivo o adhesivo/bracket antes de que ocurriera la fractura del bracket de zafiro.

Ødegaard y cols., en 1988 realizaron una investigación donde utilizaron dos diferentes tipos de brackets metálicos con diferentes bases, realizaron una pieza en forma de T hecha de policristalino con una base preparada para la adhesión, los cuales se realizaron especialmente para el estudio por el fabricante de los brackets de cerámica, Ceradyne Inc; las superficies fueron tratados con un sellador debido a que así fue tratada la pieza T de cerámica presentando una resistencia a la cizalla de 23.9 Mn/m².⁴³

El adhesivo A presentaba una resistencia a cizalla de 15 MN/m², en la base metálica estriada, en la base metálica de malla fue de 20.7MN/m² y del brackets cerámicos o la pieza T hecha para el estudio fue de 23.0 MN/m². Mientras que en el adhesivo B, mostró resultados para el de base estriada de 12.3 MN/m², el de base de malla 18.8

MN/m², y la pieza T de policristalino fue de 20.7 Mn/m².⁴³ Se realizaron las conversiones a N/mm² manteniéndose las mismas cifras y observándose que en comparación a los brackets metálicos y la pieza T hecha para el estudio los resultados fueron menores que los que se obtuvieron en esta investigación los cuáles tuvieron un promedio de 95.091 N/mm², por lo que cabe pensar que ocurriría el desprendimiento del brackets antes de que ocurriera la fractura del mismo.

Joseph y Rossouw en 1990 realizaron un estudio donde la resistencia de enlace por cizallamiento de los grupos cerámicos del B fue de 28.27 MN/m² y el grupo C fue de 24.25 MN/m² siendo significativamente mayor que aquellos grupos de brackets metálicos del grupo A con 17.34 MN/m² y el grupo D con 17.80 MN/m², presentando ambos grupos una resistencia mayor a la cizalla que la que se considera clínicamente aceptable.⁴⁴

Se puede suponer que debido a que los brackets cerámicos son tan rígidos, no se produjo deformación cuando se aplicaron fuerzas de cizalla en las brackets.⁴⁴ Manteniéndose aún estos resultados igualmente menor a los obtenidos en la investigación.

En el estudio realizado por Viazis en 1990 para valorar la fuerza al desprendimiento en cizalla utilizando el adhesivo transbond, los metálicos presentaron una media de 202.99 N/mm², los policristalino una media de 282.72 N/mm² y los monocristalinos de 96.791 N/mm²,⁴⁵ teniendo resultados parecidos a los nuestros los brackets monocristalinos, pero siendo los últimos ligeramente menor, por lo que en comparación a este estudio los brackets de zafiro de nuestra muestra sufrirían de fractura antes de que ocurriera el desprendimiento.

William Proffit menciona que el rango de masticación va de 1 a 2 kg al momento de llevarse a cabo la acción y consumir alimentos blandos que en N/mm² sería entre 9.80 a 19.61, esta acción puede expresarse con las pruebas de fuerzas de compresión y cizalla,

al compararlo con los resultados obtenidos de de 568.503 N/mm^2 para compresión y de 95.901 N/mm^2 .

Los valores de la fuerza ortodóncica necesarios para el torque de los incisivos centrales maxilares con un arco recto han sido estimados por varios autores. El rango de fuerza de torsión es bastante amplio el cual va de un mínimo de 9.22 N/mm^2 informado por Steyn a un máximo de 34.32 N/mm^2 informado por Nikolai.⁴⁶

Holt y cols, en 1991 realizaron pruebas de resistencia a la fractura en brackets cerámicos durante la torsión de un arco de alambre dentro del slot, evaluaron brackets uno de monocristalino y dos de policristalino, el primero presentó una resistencia media de 60.57 N/mm^2 y los de policristalino de 56.59 y 46.56 N/mm^2 ,⁴⁷ siendo considerablemente mayores estos resultados a los obtenidos en está investigación a fuerzas de torsión que fueron de 13.193 N/mm^2 .

En el estudio realizado por Akinin y cols en 1996 utilizaron 7 brackets de policristalino teniendo un rango de 56.43 a 91.35 N/mm^2 ,⁴⁶ presentó resultados considerablemente mayores que los obtenidos en este estudio.

Los resultados obtenidos por Vhanbatte en 2014 son igualmente mayores a los que se obtuvieron por medio de esta investigación, ellos evaluaron brackets de policristalino donde obtuvieron como resultados para el incisivo lateral 29.40 N/mm^2 en sus resultados más bajos y una resistencia de 44.10 N/mm^2 para el bracket de monocristalino de un canino.⁴⁸

Se puede pensar que ya que está investigación mostró resultados por debajo de los reportados en la literatura revisada, pudo haber influido que se eligió el bracket mas pequeño para llevar acabo las pruebas de resistencia, así como el tipo de montaje que se utilizó.

VI. CONCLUSIONES

Las fuerzas de compresión y cizalla, se consideran clínicamente aceptable para el tratamiento de ortodoncia el uso de brackets de zafiro, así pues el recomendar evitar morder objetos duros donde se puede presentar la mecánica de cizallamiento donde se puede llegar a producir una fuerza de 490.33 N/mm^2 .

A pesar de que los resultados obtenidos en esta investigación para la pruebas de torsión donde los valores se encontraron por debajo de estudios realizados previamente, cabe mencionar que lo que indicaban autores como Steyn y Neuger, que el torque indicado para dientes centrales maxilares es de 9.22 a 10.14 N/mm^2 , y considerando que se evaluó el bracket para un diente más pequeño por lo cual el bracket así también lo era y sobrepasó la fuerza con un resultado de 13.19 N/mm^2 , puede establecerse que igualmente es clínicamente aceptable para realizar este tipo de fuerza durante el tratamiento.

Diferenciando las marcas en las pruebas de compresión, se concluye que LANCER presenta la menor resistencia a dicha prueba en comparación a las demás casas comerciales con un promedio de 226.73 N/mm^2 , y observándose que las demás marcas se comportan casi de la misma manera no existiendo diferencia estadísticamente significativa entre ellas.

En la prueba de cizalla la marca American Orthodontics presenta los mejores resultados pudiéndose concluir que es la casa comercial que resiste más a las fuerzas ejercidas tomando en cuenta las fuerzas de compresión y cizalla. TD presenta la media con un resultado mayor en las fuerzas de torsión, así como la máxima y la mínima más alta de todas las marcas.

Se concluye que, al analizar de una manera total la muestra de brackets de zafiro, presentó resultados que se consideran adecuados aún en el límite para realizar el tratamiento ortodóncico y que dichos brackets son capaces de soportar las fuerzas a las cuales pueden ser sometidos durante este proceso.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Feu D, Catharino F, Belchor C, Capelli J. Esthetic value of orthodontic appliances by lay Brazilian adults. *Dental Press J Orthod.* 2012; 17(5): 102-14.
2. Bishara S. Ceramic brackets and the need to develop national standards. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000; 115 (5): 595-7.
3. Peláez A, Mazza S. Necesidad de tratamiento ortodóncico según severidad de maloclusión en pacientes adultos. *Odontoestomatología.* 2015; 17(26): 12-23.
4. Arici S. Orthodontic Brackets (A Literature Review). *Türk Ortodonti Dergisi.* 1998; 11 (2): 175-87.
5. Ciocan D, Dragos S. Anchorage of the modern orthodontic appliances clinical evaluation. *Analele Universității "Dunărea de Jos" Galati Medicină. Fascicula XVII.* 2012; 2: 83-92.
6. Samruajbenjakul B, Kukiattrakoon B. Shear Bond Strength of ceramic brackets with different base to feldspathic porcelains. *Angle Orthod.* 2009; 79 (3): 571-76.
7. Bishara S, Ostby A, Laffoon J, Warren J. Enamel Cracks and Ceramic Bracket Failure during Debonding In Vitro. *Angle Orthod.* 2008; 78(6): 1078-83.
8. Galvão M, Camporesi M, Tortamano A, Dominguez G, Defraia E. Frictional resistance in monocrystalline ceramic brackets with conventional and nonconventional elastomeric ligatures. *Progress in Orthodontics.* 2013; 14:9. Obtenible en: <http://www.progressinorthodontics.com/content/14/1/9>

9. Samruajbenjakul B, Kukiattrakoon B. Shear Bond Stregth of ceramic brackets with different base to feldspathic porcelains. *Angle Orthod.* 2009; 79 (3): 571-76.
10. Meguro D, Hayakawa T, Kawasaka M, Kasai K. Shear bond strength of calcium phosphate ceramic brackets to human enamel. *T.A.O.* 2006; 76(2): 301-5.
11. Reicheneder C, Baumert U, Gedrange T, Proff P, Faltermeier A, Muessing D. Frictional properties of aesthetic brackets. *European Journal of Orthodontics.* 2007; 29: 359-65.
12. Maltagliati L, Feres R, Figueredo M, Furquim D. Bráquetes estéticos- considerações clínicas. *Rev Clín Ortodon Dental Press, Maringá.* 2006; 5 (3): 89-95.
13. Ramos P, Vieira R, Lenza M. Evaluation of shear bond strength of different treatments of ceramic brackets surfaces. *Dental Press J orthod.* 2012; 17 (4): e1-8.
14. Russell J. Current Produncts and Practice Aesthetic Orthodontinc Brackets. *JO.* 2005; 32: 146-63.
15. Johnson G, Walker M, Kula K. Fracture Strength of ceramic bracket tie wings subjected to tension. *Angle Orthod.* 2004; 75: 95-100.
16. Lee Y. Changes in the reflected and transmitted color of esthetic brackets after termal cycling. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 133(5): 641.e2- 641.e6.
17. Jena A, Duggal R, Mehrotra A. Physical Properties and clinical characteristics of ceramic brackets: A comprehensive Review. *Trends Biomater. Artif. Organs.* 2007; 20(2).

18. Flores F. Ventajas y desventajas del tratamiento de ortodoncia aplicado en piezas dentales con giroversión. Tesis para obtención del título de odontólogo. Universidad de Guayaquil. 2013; 13-16.
19. Proffit W, Fields H, Sarver D. Ortodoncia Contemporánea. 4ta Edición. ELSEVIER MOSBY. España. 2008: 332-40.
20. Anusavice K. Phillips Ciencia de los materiales dentales. Undécima edición. Elsevier. Madrid. 2004: 77.
21. Chávez T. Efecto del Flúor tópico en la adhesión de brackets. Tesis para obtener el título de cirujano dentista. Universidad Peruana Cayetano Heredia. 2013: 14-15.
22. Marroquin R. Fabricacion de un ceramico de porosidad contralada base Al_2O_3 . Tesis para obtener el título de ingeniero quimico en materias. Univerisdad Autonoma de Queretaro. Facultad de quimica. 2015: 5-6.
23. Scott G. Fracture toughness and surface cracks- the key to understanding ceramic bracktes. Angle Orthod. January 1988; 58(1): 5-8.
24. Nonaka A. Resistencia a la fuerza de cizalla en brackets recemntados utilizando dos tipos de resina fotopolimerizables: estudio in vitro. Tesina de Especialidad. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2015. Pág V.
25. Vega J. Resistencia al cizallamiento de un sistema totalmente cerámico frente a siete sistemas ceramo-metálicos: estudio comparativo. RCOE. 2005; 10(5-6): 529-39.

26. Ramos V. Comparación de las propiedades mecánicas de tres marcas de arcos ortodóncicos de níquel-titanio termoactivados. Estudio in vitro. Tesis para obtener título profesional de cirujano dentista. Lima. 2010: 49.
27. Rojas P. Factores asociados a la expresión del torque a nivel de los incisivos superiores. Rev Chil Ortod. 2015; 32(1): 42-52.
28. Nanda R. Biomecánica en Ortodoncia Clínica. Editorial medica panamericana. Uruguay. 1997:6.
29. Burstone C. The mechanics of the segmented arch techniques. Angle Orthod. 1966; 36(2): 99-120.
30. Steyn C. Measurement of edgewise torque force in vitro. Am J Orthod. 1977; 71(5): 565-73.
31. Ghafari J. Problems associated with ceramic brackets suggest limiting use to selected teeth. Angle Orthod. 1992; 62(2): 145-52.
32. Karamouzou A, Athanasiou A, Papadopoulos M. Clinical characteristics and properties of ceramic brackets: A comprehensive review. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1997; 112(1): 34-40.
33. Klocke A, Korbmacher H, Huck L, Ghosh J, Kahl-Nieke B. Plasma arc curing of ceramic brackets: an evaluation of shear bond strength and debonding characteristics. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003; 124 (3): 309-15.
34. Flores D, Caruso J, Scott G, Jeiroudi M. The fracture strength of ceramic brackets: a comparative study. Angle Orthod. 1990; 60 (4); 269- 276.

35. Nishio C, de Moraes A, de Oliveira M, Tanaka E, Tanne K, Nelson C. Evaluation of esthetic brackets resistance to torsional forces from the archwire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 135(1): 42-8.
36. Rayes F, Divino R, Lucato A, Scudeler S, Correa C, Valdrigh H. Fracture Strength of ceramic brackets submitted to archwire torsional strain. *Braz J Oral Sci.* 2011; 10 (3): 180-3.
37. Hazer W, Bourauel C, Gmyrek H. Torque capacity of metal and polycarbonate brackets with and without a metal slot. *European Journal of Orthodontics.* 2004; 26: 435-41.
38. Dobrovinskaya E, Lytvynov L. *Shapphire Material, Manufacturing, Applications.* Springer. New York. 2009: 1, 31-32, 55, 80-99.
39. Harris D. A century of Sapphire crystal growth. Naval Air Systems Command, China Lake, California. 2004. Obtenible en <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a460239.pdf>
40. Khattak C, Schmid F. Growth of the world's largest sapphire crystals. *Journal of Crystal Growth.* 2001; 225: 572-79.
41. Obtenido de www.astromia.com/glosario/refraccion.htm el día 3 de diciembre del 2015.
42. Studart A, Gonzenbach G, Tervoort E, Gauckler L. Processing routes to macroporous ceramics: a review. *J Am Ceram Soc.* 2006; 89(6): 1771-1789.
43. Ødegaard J, Segner D. Shear bond strength of metal brackets compared with a new ceramic bracket. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1988; 94(3): 201-6.

44. Joseph V, Rossouw E. The shear bond strengths of stainless Steel and ceramic brackets used with chemically and lighth activated composite resins. Am J Orthod Dentofac Orthop. 1990; 97(2): 122-5.
45. Viazis A, Cavabaugh G, Bevis R. Bond strength of ceramic brackets under shear stress: An in vitro report. Am J Orthod Dentofac Orthop. 1990; 98(3):214-21.
46. Akin P, Nanda R, Duncanson M, Currier F, Sinha P. Fracture strength of ceramic brackets during arch wire torsion. Am J Orthod Dentofac Orthop. 1996(1); 109:22-7.
47. Holt M, Nanda R, Duncanson M. Fracture resistance of ceramic brackets during arch wire torsion. Am J Orthod Dentofac Orthop. 1991; 99(4):287-93.
48. Vhanbatte R, Uddanwadiker R. Patil P. Evaluation of torsional strenght of ceramic brackets produced by arch wire twisting moment. IJMER. 2014; 2(4): 33-7.

VIII. ANEXOS

Anexo1

MATRIZ PARA LA OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES						
NOMBRE	DEFINICIÓN	INDICADOR	ESCALA	CONSTRUCCIÓN	USO	FUENTE
Resistencia a fuerzas compresivas	Oposición interna de un cuerpo sometido a una carga que tiende a comprimirlo	Brackets de zafiro de las 4 casas comerciales de venta en México	N	Promedio por casa comercial	Saber la resistencia que presentan las diferentes marcas cuando se someten a pruebas de compresión.	Hoja de registro con los datos arrojados por la maquina universal de pruebas
Resistencia a fuerzas de cizalla	Oposición de un cuerpo a una fuerza tangencial que tiende a separarlo de una superficie	Brackets de zafiro de las 4 casas comerciales de venta en México	N	Promedio por casa comercial	Saber la resistencia que presentan las diferentes marcas comerciales cuando se someten a pruebas de cizallamiento	Hoja de registro con los datos arrojados por la maquina universal de pruebas
Resistencia a fuerzas de torsión	Oposición de un cuerpo a una fuerza giratoria.	Brackets de zafiro de las 4 casas comerciales de venta en México	g.mm	Promedio por casa comercial	Saber la resistencia que presentan las diferentes marcas comerciales	Hoja de registro con los datos arrojados por la

Resistencia de los brackets de zafiro a las fuerzas de compresión, cizalla y torsión

					cuando se maquina someten a universal fuerzas de de pruebas torsión.
Casas comerciales	Compañías de adquisición de productos para tratamientos dentales	American Orthodontics Ah-kim-Pech TD LANCER			Comparación entre casas Hoja de registro

Anexo 2

Casa Comercial	Compresión	Cizalla	Torsión
LANCER	33.29	47.79	11.28
LANCER	55.98	128.2	12.09
LANCER	82.15	68.19	9.27
LANCER	398.7	120.3	13.83
LANCER	313.8	62.82	8.86
LANCER	196.7	68.46	9.67
LANCER	510.1	75.44	8.86
LANCER	370.5	26.05	12.49
LANCER	119.5	52.62	12.62
LANCER	186.6	33.03	14.64
TD	353.4	91.95	12.35
TD	629.5	90.47	13.83
TD	845.1	63.36	12.89
TD	681.6	146.1	18.66

Resistencia de los brackets de zafiro a las fuerzas de compresión, cizalla y torsión

TD	800.8	60.41	17.32
TD	1083	124.4	15.44
TD	972.5	61.08	15.04
TD	418.7	42.02	14.37
TD	957.6	68.86	13.7
TD	518.7	103.6	13.29
Ah-Kim-Pech	840.5	84.48	11.55
Ah-Kim-Pech	796.3	40.54	15.58
Ah-Kim-Pech	940.4	136.4	13.83
Ah-Kim-Pech	752.2	118.8	14.23
Ah-Kim-Pech	339.6	106.5	15.17
Ah-Kim-Pech	282.8	123.8	17.59
Ah-Kim-Pech	266.7	81.48	15.71
Ah-Kim-Pech	369.7	39.86	14.64
Ah-Kim-Pech	1346	39.19	12.09
Ah-Kim-Pech	699.9	58.66	16.65
American Orthodontics	392.9	144.8	13.7
American Orthodontics	241.5	145.8	17.32
American Orthodontics	609.7	122.4	7.79
American Orthodontics	335.4	122.6	7.51
American Orthodontics	699.1	102.8	11.95
American Orthodontics	1161	133	6.45
American Orthodontics	635.4	169	16.25
American Orthodontics	771.8	124.8	16.52
American Orthodontics	947.4	173.2	7.12
American Orthodontics	783.6	200.4	15.98

Anexo 3

Actividad	Oct 2015	Nov 2015	Dic 2015- Ene 2016	Feb- May 2016	May 2016	Jun- Ago 2016	Oct 2016	Nov 2016	
Elección del tema	x								
Búsqueda de información		x							
Redaccion de la información obtenida			x						
Realización del protocolo				x					
Elaboración de cartas para patrocinio					x				
Obtención de la totalidad de los brackets							x		
Traslado a BUAP							x		

Resistencia de los brackets de zafiro a las fuerzas de compresión, cizalla y torsión

Realización de pruebas							x		
Recolección de datos							x		
Realización de media de cada prueba de cada casa comercial								x	
Realizar Análisis de Varianza								x	
Resultados y discusión									x
Entrega de Tesis									x