

COMPORTAMIENTO DE LA UNIÓN METAL CERÁMICA ANTE LAS FUERZAS DE CIZALLAMIENTO DE CILINDROS COLADOS Vs SINTERIZADOS EN COBALTO-CROMO

BEHAVIOR OF THE CERAMIC METAL UNION BECAUSE OF THE STRENGTHENING FORCES OF CAST VS. SINTERED CYLINDERS IN COBALT-CHROMIUM

Kamal Echtay HY¹, Córdoba Durán JA¹, Matiz Gracia ND¹, Rojas Tique LA¹.
Forero M², Parra D³

RESUMEN

Introducción: comparar el comportamiento ante fuerzas de cizallamiento en la unión metal-cerámica utilizando cilindros de Co-Cr sinterizadas vs coladas.

Materiales y métodos: investigación experimental *in vitro*, utilizando 36 cilindros de metal base Co-Cr colados y sinterizados de 9mm de longitud por 2.5 mm de diámetro (n = 18 por grupo). La muestra total se subdividió en 4 grupos (n=9) a los cuales se les añadió 2mm de porcelana (cerámica Vita), sometiendo a termociclado a dos de los grupos. Un experto realizó prueba de cizallamiento al total de la muestra con una máquina universal de ensayos (Instron), el cual se encargó de interpretar los resultados obtenidos de micrografías tomadas en los lugares donde se producían las fallas en los cilindros (colados y sinterizados).

Resultados: la fuerza media de cizallamiento en los cilindros sinterizados sin termociclado fue de 63,56MPa, y de 51,52MPa; en los cilindros colados esta fuerza para ambos casos, fue cercana a los 40MPa; grupos que presentaron diferencias estadísticas (p=0,0002). Las principales fallas que se presentaron fueron las adhesivas (n=31; 88,57%), seguida de las mixtas (n=5, 11,43%); no se presentaron fallas cohesivas (p=0,465).

Conclusiones: los cilindros sinterizados sin y con termociclado presentaron un mejor comportamiento ante la presencia de fuerzas de cizallamiento que los cilindros colados. Además, sin diferencias importantes entre los grupos, se presentan prevalentemente fallas adhesivas.

Palabras clave: cobalto-cromo, termociclado, fallas adhesivas, fallas cohesivas, aleaciones, sinterizado, colado, tecnología CAD/CAM, fuerza de cizallamiento, falla del material.

ABSTRACT

Overall objective: to compare strengthening forces at the metal-ceramic bond using sintered vs. cast Co-Cr cylinders.

Materials and methods: *In vitro* experimental investigation, using 36 cast and sintered Co-Cr base metal cylinders 9mm long by 2.5 mm diameter (n = 18 per group). The total sample was subdivided into 4 groups (n = 9) to which 2mm of porcelain (Vita ceramics) were added, subjecting two of the groups to thermocycling. An expert performed the shear test with the universal test machine assembly (Instron), which was responsible for interpreting the results obtained from micrographs taken in the places where the failures in the cylinders (cast and sintered) occurred.

Results: the mean shear force in the sintered cylinders without thermocycling was 63.56MPa, and 51.52MPa; In the cast cylinders this force for both cases were close to 40MPa; groups that presented statistical differences (p=0.0002). The main faults presented were adhesives (n = 31, 88.57%), followed by mixtures (n = 5, 11.43%); there were no cohesive failures (p=0.465).

Conclusions: sintered cylinders without and with thermocycling showed a better performance in the presence of shear forces than the cast cylinders. In addition, with no significant differences between groups, adhesive failures occur predominantly.

Keywords: cobalt-chromium, thermocycling, adhesive faults, cohesive failure, alloys, sintering, casting, CAD / CAM technology, shearing force, material failure

¹ Odontólogo, Estudiante postgrado de Prostodoncia, Institución Universitaria Colegios de Colombia, UNICOC. Bogotá.

² Odontóloga, Especialista en Rehabilitación Oral – Docente de postgrado, Institución Universitaria Colegios de Colombia, UNICOC. Bogotá D.C. – Asesora Científica.

³ Odontóloga, Especialista en Epidemiología – Docente de postgrado, Institución Universitaria Colegios de Colombia, UNICOC. Bogotá D.C. – Asesora Metodológica.

Introducción

Durante años los metales se han utilizado para sustituir tejidos dentales, en un principio se utilizaron puros como el oro, usado para restauraciones tipo coronas y prótesis parcial fija, pero debido a su poca resistencia, se dio la necesidad de desarrollar aleaciones con otros metales para mejorar sus características físicas, biocompatibilidad y resistencia a la corrosión. En la década de los años 70 materiales alternativos fueron desarrollados para combatir el aumento del costo de los metales nobles logrando métodos de fabricación que proporcionaran buenas propiedades mecánicas, precisión en el ajuste y rendimiento clínico⁽¹⁾. Es entonces cuando se crean las aleaciones de metales bases tales como Níquel-Cromo y Cobalto-Cromo (Co-Cr); las cuales fueron aceptadas debido a su equilibrio entre resistencia, estética y costo. Sin embargo, ante la posibilidad de alergia al Níquel la aleación de Co-Cr se convirtió en una opción más favorable⁽²⁾.

Las aleaciones deben soportar las fuerzas masticatorias y el medio intraoral; por lo tanto, deben poseer propiedades mecánicas y químicas suficientes para tales fines durante largo tiempo. Se conoce que las restauraciones se someten a tracción, compresión, torsión y fuerzas de la masticación; por lo tanto, al diseñar una prótesis parcial fija es necesario aplicar los principios adecuados para obtener una restauración duradera⁽³⁾. A lo largo del tiempo, con los avances tecnológicos han surgido nuevas tecnologías aplicables a la prostodoncia con el fin de reducir el costo en la elaboración de las restauraciones y minimizar sus fallas, introduciendo nuevos sistemas para tratar el metal base en la fabricación de prótesis fijas, dentro de los que se encuentra el método sinterizado el cual pretende modernizar y mejorar la calidad de las estructuras metálicas en comparación con el sistema colado.⁽¹⁾

Existen diferentes métodos de fabricación para las aleaciones de Co-Cr: el colado y el sinterizado. Dentro de las técnicas de colado se encuentran dos tipos; Taggart introdujo el colado a presión y Jameson y Col desarrollaron el colado centrífugo; técnicas que en la actualidad siguen dominando la tecnología del laboratorio dental^(4,5). La técnica de sinterizado laser es una técnica CAD-CAM (diseño y manufactura asistida por computador) que presenta tres elementos principales: adquisición de datos, procesamiento de los mismos y fabricación. La primera involucra escáneres intra o extraorales que permiten crear un modelo digital 3D de la cavidad oral para luego realizar un diseño que puede ser para coronas, prótesis fija y estructuras de prótesis parciales removibles por intermedio del ordenador;

con el uso de los escáneres intraorales se elimina la necesidad de toma de impresión⁽¹⁾.

La introducción de estas nuevas tecnologías de manufactura en la odontología, lleva la profesión a nuevas esferas, la ayuda a dar respuestas eficientes y eficaces a las necesidades de un mercado cada vez más demandante. El sinterizado de Co-Cr es un método que pretende mantener el uso de las aleaciones metálicas en la odontología, facilitando la obtención de estas estructuras que poseen un mejor acabado, demandan un menor tiempo y logran una disminución en el costo de elaboración^(2,3); incluso, por obtener una mayor rugosidad mejora la adhesión metal-cerámica en el exterior y mejora la adhesión cemento-metal en el interior de la estructura⁽³⁾.

A través del método sinterizado existe la probabilidad de reemplazar la fabricación de restauraciones dentales elaboradas con el método tradicional (colado). Por tanto, es importante conocer las propiedades que brinda el sinterizado en las aleaciones metal-cerámica. Sin embargo, es poca la evidencia que a la fecha brinde información sobre biocompatibilidad, efectos a largo plazo⁽³⁾ o incluso comparar el tipo de fallas que puedan presentarse entre la unión de la porcelana al metal mediante estos métodos de manufactura (sinterizado y colado)⁽⁶⁾. Tal situación, ha llevado a la necesidad de investigar más a fondo estos procesos con el fin de conocer si esta nueva técnica de manufactura puede llegar a reemplazar el método tradicional colado mejorando las propiedades mecánicas y físicas entre la unión metal-cerámica; por lo cual, se desarrolló esta investigación que tuvo por objetivo comparar el comportamiento ante fuerzas de cizallamiento en la unión metal-cerámica utilizando cilindros de Co-Cr sinterizados vs. colados.

Materiales y métodos

La investigación fue de tipo experimental in vitro, en la que se utilizaron un total de 36 cilindros de metal base Co-Cr colados (n = 18) y sinterizados (n = 18); los cuales fueron divididos al azar en cuatro grupos. Todos los cilindros que componen la muestra tuvieron un tamaño estandarizado de 2,5mm de diámetro y 9mm de longitud con su respectiva cerámica (2mm de longitud y 2,5 de diámetro).

- Elaboración de los cilindros

Cilindros en Co-Cr colados. En este caso se utilizó el método de la cera pérdida, proceso que fue realizado en un laboratorio certificado de la ciudad.

Cera BEGO de 2,5 mm de diámetro, previamente cortada a 9 mm de longitud, fue pegada a los bebederos, donde se armó un árbol de cera para revestir en un anillo de 150 g (revestimiento Galaxi G2 Universal Investment W Murfiel Valencia CA EE UU). Luego se mezclaron 150 g de revestimiento G2 en 30 ml de agua destilada, se llevó a la mezcladora al vacío durante 1 min para posteriormente verter la mezcla dentro del anillo. Se colocó en el presurizador por un tiempo de 30 min para mejorar las propiedades del revestimiento y luego se colocó en horno evaporador de cera, programándolo a 4 temperaturas de la siguiente manera: a) temperatura inicial 500 °F estabilizando el horno en un tiempo de 10 minutos con una rata de acenso de 30° f por minuto; b) temperatura de 1000 °F estabilizando el horno en un tiempo de 10 minutos con una rata de acenso de 30 °F por minuto; c) temperatura de 1400 °F estabilizando el horno en un tiempo de 10 minutos con una rata de acenso de 30° f por minuto; y d) temperatura final de 1660 °F estabilizando el horno por un tiempo de 45 minutos. En un paso siguiente se procedió a la fundición de la aleación Co-Cr (Argeloy N.P. Supreme) a 1480°C. Se dejó enfriar a temperatura ambiente por un periodo de 1 hora. Luego se retiró el revestimiento del anillo liberando el colado para posterior arenado con partículas de óxido de aluminio de 110micras con una presión de 2 bar. Por último, se realizó corte, individualización y pulido de los 18 cilindros colados.

Cilindros en Co-Cr sinterizado. En este caso se partió por diseñar un cilindro haciendo uso del software 3 Shape dental system 2016 con diámetro de 2.5mm y 9mm longitud. 18 cilindros en Co-Cr se sinterizaron en la fábrica de Phibo Colombia utilizando el diseño previamente hecho. Estas muestras fueron producidas con el sistema de EOSINT M 270 (EOS GmbH Electro Optical Systems), que construyó el modelo capa a capa mediante el uso de un haz láser enfocado para fundir y fusionar el polvo de aleación Co-Cr (EOS Cobalt-Chrome SP2) en una estructura sólida. El espesor de la capa fue de 20 micras.

- Adhesión de la cerámica

Cilindros en Co-Cr colados. Se arenaron los especímenes con partículas de óxido de aluminio (Al₂O₃) de 50 – 100 micras (µm) con una presión 2 bar. Se limpiaron con ultrasonido en agua destilada durante 8 minutos. Luego se usó una técnica de estratificación manual utilizando aplicaciones de dispositivo de unión, opaco, dentina, y las capas de esmalte de la siguiente manera: a) Los especímenes fueron dispuestos en un horno (Vita Vacumat 40 T); b) Se aplicó opaco a temperatura inicial de 403 °C hasta llegar a una temperatura final 980 °C con

una rata de acenso de 80 °C por minuto, manteniendo temperatura final por 6 minutos; c) A la segunda capa de opaco se le aplicó una temperatura inicial de 403 °C hasta llegar a una temperatura final de 970 °C con una rata de acenso de 80 °C por minuto, manteniendo temperatura final por 6 minutos; d) Dentina: se le aplicó una temperatura inicial de 403 °C hasta llegar a una temperatura final de 920 °C con una rata de acenso de 80 °C por minuto, manteniendo temperatura final por 4 minutos; y e) Esmalte: se le aplicó una temperatura inicial de 403 °C hasta llegar a una temperatura final de 920 °C con una rata de acenso de 80 °C por minuto, manteniendo temperatura final por 4 minutos.

Cilindros en Co-Cr sinterizado. Este procedimiento fue realizado siguiendo el protocolo sugerido por Phibo, en donde se realizó arenado con Oxido de Aluminio de 250 micras a 4,5 bar. Se limpió con ultrasonido en agua destilada durante 8 minutos. Se usó una técnica de estratificación manual que participa aplicaciones de dispositivo de unión, opaco, dentina, y las capas de esmalte. Los especímenes fueron dispuestos en un horno (Vita Vacumat 40 T). Se empleó el mismo protocolo utilizado en los cilindros colados variando su enfriamiento el cual se fue a 600 °C (manteniendo esta temperatura 1 minuto) con la mufla cerrada en un 90% (este enfriamiento se realizó en todas las capas cerámicas).

Una vez listos los especímenes se dividieron los grupos de la siguiente manera:

- **Grupo A (colado) y B (sinterizado):** compuesto por 9 modelos cada uno de Co-Cr con su respectiva cerámica de revestimiento, los cuales fueron dispuestos a 37°C por 24 horas previo a la prueba de fuerza de cizallamiento.
- **Grupo C (colado) y D (sinterizado):** compuesto por 9 modelos cada uno de Co-Cr sometidos a 5000 ciclos en una inmersión en baño de agua a 4°C +-2 y 55°C+-2, (tiempo en cada compartimiento de 30 segundos, tiempo de escurrimiento y entre compartimientos de 3 segundos) con su respectiva cerámica de revestimiento.

Las pruebas de laboratorio fueron realizadas por un experto en la materia, el cual al momento de recibir los grupos desconocía su distribución. Sin embargo, se le indicó que en los grupos C y D les correspondía la prueba de termociclado.

La máquina universal de ensayos Instron (modelo 3345), fue la encargada de generar las cargas de cizallamiento sobre los correspondientes

especímenes hasta producir la fractura de la cerámica. La fuerza aplicada por esta máquina se registra en megapáscales (Mpa) y se realiza de manera constante hasta alcanzar el punto de fractura del material.

Se registraron los tipos de falla encontrados por medio de microfotografías; las cuales permitieron clasificar las fallas en:

- **Tipo I:** cohesivas, presente únicamente en la cerámica.
- **Tipo II:** adhesivas, presente en la unión metal-cerámica.
- **Tipo III:** mixtas, presentes tanto en la cerámica como en la unión metal-cerámica.

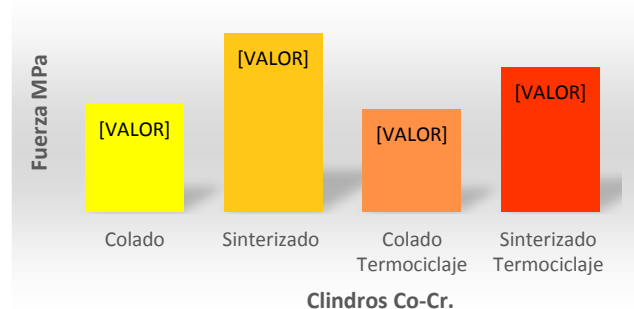
El registro de cada falla se realizó por medio de imágenes de estereomicroscopía y fotografía digital macro (cámara Cannon EOS T5 con un objetivo macro 100).

Análisis de la información. Los datos obtenidos fueron de tipo cuantitativo y cualitativo; los primeros de éstos con colaboración del experto para realizar la correcta interpretación. Se culminó con el diligenciamiento en un instrumento de recolección de datos previamente diseñado (Microsoft Excel 2016). A nivel estadístico, las variables se describieron según medidas de tendencia central) y con frecuencias al describir el tipo de falla. Para determinar si las fuerzas presentaban distribución normal se utilizó la prueba de Shapiro Wilk, la prueba de Grubbs sirvió para determinar la presencia de fuerzas atípicas, la prueba de Levene se utilizó para determinar la igualdad de varianzas; con la prueba ANOVA de 1 vía se compararon las fuerzas promedio de cizallamiento y la prueba de χ^2 reveló la asociación entre tipo de falla y cilindro. Se consideró un nivel de significancia de 0,05.

Resultados

Tras analizar los 36 cilindros de metal base Co-Cr colados y sinterizados, se encontró que la fuerza media de cizallamiento por espécimen fue superior en los casos de los grupos sinterizados, tanto para los no termociclados (63,56MPa) como para aquellos en los que sí se realizó (51,52MPa). La fuerza media en los cilindros colados con y sin termociclado fue cercana a los 40MPa dando diferencias estadísticas ($p=0,0002$) que dejan en evidencia la relación entre las variables (figura 1).

Figura 1. Fuerza media de cizallamiento por cilindros de Co-Cr.



ANOVA: Single Factor p-value=0,0002

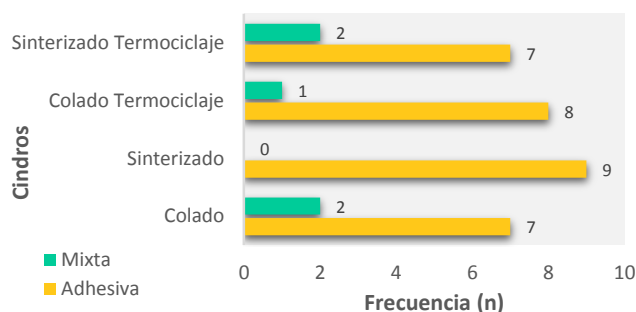
Cuando se observa la dispersión de las fuerzas de cizallamiento que presentaron cada uno de los cilindros en los diferentes grupos; se obtuvieron medidas mucho más homogéneas en los grupos de cilindros sinterizado (figura 2).

Figura 2. Comportamiento de las fuerzas de cizallamiento por cilindros Co-Cr.



Al analizar la presencia de fallas adhesivas, cohesivas y mixtas en la unión metal cerámica utilizando cilindros de Co-Cr sinterizado laser y colado posterior a los procesos de termociclado y fuerzas de cizallamiento respectivamente, dejan claro que la mayoría de las fallas presentes fueron de tipo adhesivo ($n=31$; 88,57%) sin haber presencia de fallas cohesivas en ninguno de los grupos (figura 3).

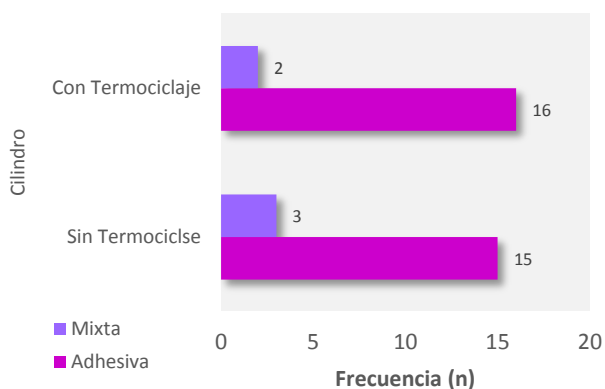
Figura 3. Tipo de falla encontrado según el cilindro Co-Cr.



Chi-Square Test p-value 0,465

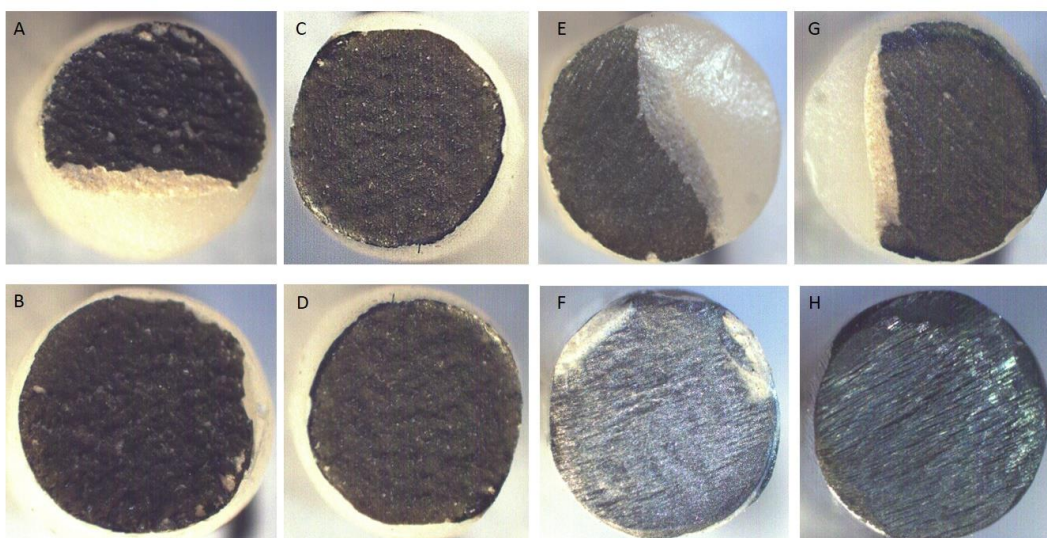
El tipo de falla tampoco estuvo asociado con la condición de la prueba, termociclado o no termociclado ($p=0,628$) y se presenta similar en ambos casos (figura 4). Las fallas encontradas en los cilindros se observan en las siguientes micrografías (figura 5).

Figura 4. Tipo de falla por termociclaje en cilindros Co-Cr.



Chi-Square Test p-value 0,628

Figura 5. Micrografías a 40X de los sitios donde se presentaron las diferentes fallas en los cilindros



A) Falla mixta cilindros colados sin termociclado; B) Falla adhesiva cilindros colados con termociclado; C/D) Falla adhesiva cilindros colados con termociclado (solo se presentó este tipo de falla); E) Falla mixta cilindros sinterizado sin termociclado; F) Falla adhesiva cilindros sinterizado sin termociclado; G) Falla mixta cilindros sinterizados con termociclado; H) Falla adhesiva cilindros sinterizado con termociclado

Discusión

El uso de nuevas tecnologías de diseño y manufactura es en la actualidad una buena herramienta que ha empezado a utilizarse con frecuencia en el campo odontológico; es por eso que cada vez se encuentran más estudios que buscan compararla con otros métodos ampliamente aceptados como lo son las técnicas convencionales⁽⁶⁾.

Existen mecanismos para realizar seguimiento a los materiales y a sus propiedades, como la ANSI/ADA N°38 del 2000 y la Norma ISO 9693 de 1999, con las que se puede evaluar la unión metal-cerámica a través de un ensayo de flexión de tres puntos, con el cual se pudo establecer que la resistencia mínima de adhesión en estos casos debe ser de 25 MPa y de 51 MPa en estudios *in vitro* ^(6,7). Los valores medios de resistencia al cizallamiento *in vitro* encontrados en este estudio para los especímenes metalocerámicos preparados a partir de aleaciones de Co-Cr sinterizados con y sin termociclado estuvieron por encima de estos dos valores (51,52MPa y 63,56 MPa) respectivamente; sin embargo, para el caso de las muestras coladas no se cumplió a cabalidad con esta especificación. Las cifras de las aleaciones Co-Cr sinterizadas fueron similares a las reportadas por De Melo y cols. (2005), donde las fuerzas para los grupos que ellos

consideraron, fueron de $71,7 \pm 19,2$ MPa y $55,2 \pm 13,5$ ⁽⁹⁾. Un estudio similar fue el desarrollado por Stawarczyk y cols. (2014), que compararon aleaciones convencionales de Co-Cr-Mo con otras realizadas con CAD/CAM, para evaluar *in vitro* la resistencia a largo plazo de los enlaces metal-cerámica, encontrando que la nueva aleación con metal base realizado con CAD/CAM presentaba una resistencia de unión metal-cerámica comparable a la de las aleaciones Co-Cr-Mo con técnicas convencionales ⁽¹⁰⁾. Finalmente, los resultados de la investigación de Serra y cols. (2014), tras comparar la resistencia a la adherencia de la porcelana dental en las aleaciones de Co-Cr coladas y sinterizadas por láser y el tipo de falla después del termociclado al aplicar prueba de cizallamiento, encontraron que la resistencia de adhesión para las muestras no termocicladas fueron $42,79 \pm 14,14$ MPa (coladas), $37,56 \pm 9,18$ MPa (fresadas), $29,09 \pm 6,95$ MPa (sinterizadas por láser), y para las muestras termocicladas $16,52 \pm 8,96$ MPa (coladas), $22,21 \pm 13,25$ MPa (fresado), $24,28 \pm 10,13$ MPa (sinterizadas por láser); no obstante las diferencias estadísticas no fueron significativas en la adhesión entre los métodos de fabricación ($p = 0,257$), sucedió igual para el tipo de falla que no estuvo asociada con la condición de prueba (termociclado, $p = 0,280$, no termociclado, $p = 0,240$) ⁽⁶⁾; dichas cifras resultan inferiores a las encontradas en este estudio las cuales fueron para no termociclado 38,53MPa (colados), 63,56MPa (sinterizado Laser) y para los termociclado 36,50MPa (colado), 51,52MPa (sinterizado laser). Los resultados del estudio anterior no superan los mínimos recomendados, situación que puede atribuirse a los parámetros en el diseño del estudio en el cual no se pudo controlar la contracción de la cerámica obteniendo diámetros menores en comparación con los cilindros en Co-Cr.

La investigación de Li y cols. (2016), tras evaluar *in vitro* la resistencia de la unión metal-cerámica de una aleación Co-Cr fabricada de manera convencional y por fusión láser selectiva (SLM); reportaron que en su caso tampoco se encontraron diferencias significativas entre todos los grupos evaluados ($p > 0,05$) para la resistencia en la unión; aunque el grupo SLM mostró una adherencia significativamente mayor a la porcelana que el grupo colado ($p < 0,001$); con estos resultados los autores concluyen que si bien la resistencia de unión entre las cerámicas y las aleaciones Co-Cr es independiente del método de fabricación; cuando las aleaciones son producidas por fresado y SLM se obtiene una mejor adherencia a la porcelana ⁽¹¹⁾. Jang y cols. (2015) evaluaron la tensión que podía soportar el Co-Cr con tres procesos de fabricación, que incluía el proceso rápido (sinterizado) utilizando como criterios de estudio la adhesión del material y resistencia a la fractura. Ellos encontraron en todos

los grupos ensayados, una resistencia superior a 500MPa y una elongación mayor al 2%; no obstante, las muestras sinterizadas presentaron una mayor resistencia a la prueba ⁽¹²⁾, lo que sugiere que éstos sufren poca deformación cuando son sometidos a esfuerzos, situación considerada ideal cuando se trabaja con materiales de restauración. Choi y cols. (2014); compararon las propiedades mecánicas y microestructurales de la superficie fracturada para muestras de aleaciones Co-Cr fabricadas mediante el método tradicional y método sinterizado (CAD/CAM), utilizaron pruebas de elasticidad, tracción y dureza Vickers; encontrando diferencias significativas en la media de los valores de dureza Vickers entre todos los grupos; Se presentó un mayor valor de resistencia a la tracción final (1442,94 MPa) en el grupo fresado y un mayor límite de elasticidad (0,2%) (1136,15 MPa) en el grupo sinterizado láser, llevando a concluir que con diferentes métodos de fabricación se puede influir en las propiedades mecánicas y microestructurales de las superficies en aleaciones Co-Cr ⁽¹³⁾. Analizando los estudios de Choi, Li y Jang se puede atribuir que el método de fabricación tiene influencia sobre la adhesión cerámica lo cual fue expresado en los resultados del presente estudio.

Estudios como el de Qian y cols. (2015), al analizar a nivel microestructural en aleaciones de este tipo, identificaron de manera general la formación de gránulos; estos llevaron a que se produjeran tres tipos de defectos microestructurales; Finas grietas en los límites de grano ($< 10 \mu\text{m}$) y grietas en los límites de la línea de unión ($> 10 \mu\text{m}$) ⁽¹⁴⁾; sin embargo, a pesar de la presencia de estos defectos considerados “tolerables”, que son difíciles de evitar durante el proceso de manufactura, las aleaciones Co-Cr tienen un buen comportamiento permitiendo alcanzar altas fuerzas de cizallamiento antes de que ocurra algún tipo de falla ⁽⁸⁾. No obstante, con imágenes de microscopía electrónica de barrido, se ha establecido que los especímenes de Co-Cr fabricados por sinterización láser tienen mayor resistencia (incluso a la corrosión) que especímenes de aleación colado ⁽¹⁵⁾.

Las aleaciones metálicas de base están formadas por elementos que pueden ser oxidados, especialmente cromo. Por lo tanto, uno de los desafíos en este tipo de aleaciones es el control de la formación excesiva de óxido de cromo que se traduce en una menor resistencia de la unión entre el metal y la porcelana, Henriques y cols. (2012) evaluaron el efecto de preoxidación sobre la resistencia de unión de la porcelana a la aleación cobalto-cromo-molibdeno-silicio (CoCrMoSi), en la cual concluyeron que el tratamiento térmico influye en la capa de óxido que se encuentra entre la aleación y la porcelana disminuyendo considerablemente la adhesión y resistencia de la

unión metal-cerámica⁽¹⁶⁾. Esto se pudo observar en las micrografías a 40x tomadas a los diferentes especímenes del presente estudio donde se evidencia la capa de óxido sobre los cilindros, siendo más notorio en los cilindros colados haciendo a estos más susceptibles a la falla adhesiva.

Finalmente, aunque el tamaño de la muestra de esta investigación es relativamente superior al de otras investigaciones de su clase, aun puede ser considerado reducido, limitando las comparaciones entre grupos.

Conclusiones

Tras la aplicación de fuerzas de cizallamiento en los cilindros de metal base Co-Cr, se encontraron mejores resultados en los que fueron diseñados con el método de sinterizado a través de la tecnología de diseño y manufactura CAD-CAM; con estos resultados se pudo establecer que los cilindros sinterizados presentan cerca de 1,5 veces más resistencia que los cilindros colados, antes de alcanzar su punto de fractura entre la cerámica y la aleación.

Respecto a los tipos de fallas que se produjeron durante la prueba, es de destacar que las más frecuentes fueron las de tipo II o adhesivas y, en una menor proporción las de tipo III o mixtas; sin casos donde se presentaran fallas tipo I o cohesivas.

El tipo de falla no estuvo asociado con la condición de la prueba, termociclado o no termociclado.

La capa de óxido es un factor influyente en la adhesión metalcerámica, lo cual fue evidenciado en las micrografías y en la prueba de cizalla donde los especímenes colados mostraron una capa evidente de óxido y un fallo a fuerza menor en comparación con los cilindros sinterizados.

Recomendaciones

Dando continuidad a esta investigación, a futuro se pueden desarrollar investigaciones que analicen a profundidad la zona de interface entre la aleación y la cerámica, con análisis con microscopía electrónica de barrido o análisis de la rugosidad superficial (Ra).

Además, se puede considerar otras variables de tipo mecánico al momento de realizar las pruebas, entre ellas la dureza, resistencia a la tracción, entre otras.

Se sugiere que para estudios a futuro las muestra tenga un tamaño de 10 mm de diámetro por 7 mm de longitud para acercar los especímenes a una configuración más cercana a lo que son las medidas de un diente natural.

Referencias bibliográficas

1. Thompson, GA. Luo, Q. Hefti, A. Analysis of four dental alloys following torch/centrifugal and induction/ vacuum-pressure casting procedures. *J Prosthet Dent*. 2013; 110(6): 471-80.
2. Lombardo G, Nishioka R, Souza R, Michida S, Kojima A, Mesquita A, Buso L. Influence of Surface Treatment on the Shear Bond Strength of Ceramics Fused to Cobalt–Chromium. *Journal of Prosthodontics* 2010; 19: 103-111.
3. Örtorp A. Jönsson, D. Mouhsen, A. Steyern, P. The fit of cobalt–chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: A comparative in vitro study. *Dental Materials*. 2011; 27: 356-363.
4. Shanley JJ, Ancowitz SJ, Fenster RK, Pelleu GB Jr. A comparative study of the torch/centrifugal and vacuum-pressure techniques of casting removable partial denture frameworks. *J Prosthet Dent* 1981; 45: 18-23.
5. Heather J. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2007; 98: 389-404.
6. Serra J, Cano J, Cabratosa J, Figueras O. Adhesion of dental porcelain to cast, milled, and laser-sintered cobalt-chromium alloys: Shear bond strength and sensitivity to thermocycling. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 600-605.
7. International Organization for Standardization. ISO 9693. Metal ceramic dental restorative systems. Geneva: ISO; 1999. p. 1-14.
8. Akova T, Ukar Y, Tukay A, Cudy M, Brantley WA. Comparison of the bond strength of laser-sintered and cast base metal dental alloys to porcelain. *Dental materials*, 2008; 24: 1400-1404.
9. De Melo R, Caldas A, Piero M. Shear bond strengths of a ceramic system to alternative metal alloys. *J Prosthet Dent* 2005; 93: 64-69.
10. Stawarczyk B, Eichberger M, Hoffmann R, Noack F, Schweiger J, Edelhoff D, Beuer F. A Novel CAD/CAM Base Metal Compared to Conventional CoCrMo Alloys: An in-vitro Study of the Long-term Metal-ceramic Bond Strength. *OHDM*, 2014; 13(2): 446-452.
11. Li J, Chen C, Liao J, Liu L, Ye X, Lin S, Ye J. Bond strengths of porcelain to cobalt-chromium

alloys made by casting, milling and selective laser melting. J Prosthet Dent 2016; doi doi: 10.1016/j.prosdent.2016.11.001.

12. Jang SH, Lee DH, Ha JY, Hanawa T, Kim KH, Kwon TY. Preliminary Evaluation of Mechanical Properties of Co-Cr Alloys Fabricated by Three New Manufacturing Processes. Int J Prosthodont 2015; 28: 396-398.
13. Choi YJ, Koak JY, Heo SJ, Kim SK, Ahn JS, Park DS. Comparison of the mechanical properties and microstructures of fractured surface for Co-Cr alloy fabricated by conventional cast, 3-D printing laser-sintered and CAD/CAM milled techniques. J Korean Acad Prosthodont 2014; 52: 67-73.
14. Qian B, Saeidi K, Kvetková L, Lofaj F, Xiao C, Shen Z. Defects-tolerant Co-Cr-Mo dental alloys prepared by selective laser melting. Dent Mater., 2015; 31(12):1435-44.
15. Hakan S, Ozcicek N, Kurkcoglu I. Corrosion resistance assessment of Co-Cr alloy frameworks fabricated by CAD/CAM milling, laser sintering, and casting methods. J Prosthet Dent., 2015; 2015 Nov;114(5):725-34.
16. Henriques B, Soares D, Silva FS. Influence of preoxidation cycle on the bond strength of CoCrMoSi-porcelain dental composites. Material Science and Engeneering, 2012; 32: 2374-2380.