

Cerámica prensada sobre metal frente a porcelana feldespática fundida sobre metal: un estudio comparativo sobre la fuerza de unión

Bhavani Venkatachalam, DMD, MS¹/Gary R. Goldstein, DDS²/Mitchell S. Pines, DDS³/
Eugene L. Hittelman, MA, EdD⁴

Objetivo: este estudio tuvo como finalidad comparar la fuerza de deslaminado /inicio de grietas (FD/IG) de una cerámica de leucita de baja fusión prensada sobre metal (CP) con la porcelana feldespática (PF) fundida sobre metal. **Materiales y métodos:** atendiendo a la norma del estándar ISO 9693:1999 (25,0 mm x 0,50 mm x 3,0 mm) se fabricaron 40 especímenes regulares de metal, 20 con una aleación de metales nobles (AN, oro-paladio) y 20 con una aleación de metal base (AB, cobalto-cromo). Diez muestras de cada grupo recibieron PF, y los otros 10 restantes recibieron CP. En las muestras del grupo con PC se llevó a cabo una reconstrucción con un modelo en cera, con el subsiguiente revestimiento y colado. Las dimensiones de la cerámica en los cuatro grupos fueron 0,8 mm x 1,0 mm x 3,0 mm. El grosor final del espécimen ceramometálico fue de 1,5 mm. Todas las muestras fueron sometidas a una prueba de flexión en tres puntos según Schwickerath para determinar el inicio de la formación de la grieta a una velocidad de propagación de 1,5 mm/min. Las cargas para la fractura ceramometálica se registraron en Newtons, mientras que las de la FD/IG se calcularon atendiendo a la siguiente fórmula:

$\tau_b = k \times F_{\text{error o falla}}$. **Resultados:** la media de las FD/IG fue la siguiente: AB-PF: 36,11 ± 2,31 MPa; AN-PF: 42,64 ± 1,94 MPa; AB-CP: 37,47 ± 6,02 MPa; AN-CP: 47,94 ± 3,92 MPa. El análisis de varianza (ANOVA) bidireccional no mostró diferencias significativas al comparar la media de los valores de FD/IG entre los cuatro grupos. Se registró una diferencia estadísticamente significativa cuando se compararon los valores medios de FD/IG obtenidos entre las dos aleaciones de metal utilizadas (AN: 45,29 MPa y BM: 36,79 MPa). **Conclusión:** no se registraron diferencias ($P > 0,05$) en las medias de los valores de FP/IG entre los modelos de cerámica prensada de baja fusión y los de PF fundida sobre metal. Sí se registraron valores medios superiores de FD/IG ($P > 0,05$) entre los modelos con AN comparados con los de AB, en los dos tipos de cerámica incluidas en la prueba. *Int J Prosthodont* 2009;22:94-100.

A pesar del amplio uso de los sistemas totalmente cerámicos actuales, las restauraciones ceramometálicas siguen considerándose el principal medio de restauración gracias a que poseen una resistencia mecánica superior. La subestructura de metal de una restauración ceramometálica es dúctil, se curva bajo presión, y tiene la capacidad de volver a su estado original¹. La resistencia del metal a las

fracturas combinada con la naturaleza estética de la porcelana proporciona a los odontólogos restauraciones tanto duraderas como estéticas². La unión de la porcelana a las aleaciones de metal tiene lugar durante la cocción de la porcelana, un proceso conocido como sinterizar. Se produce a través de 4 mecanismos: la unión química, la interconexión mecánica, las fuerzas de Van der Waals y las fuerzas de compresión³. Una vez se ha producido la unión, la subestructura de metal subyacente proporciona el apoyo o soporte necesario a la porcelana, aumentando de este modo la resistencia de la cerámica y situando bajo compresión su superficie exterior³. El más importante de los cuatro mecanismos es la formación de un enlace químico que resulta en un equilibrio termodinámico entre el metal y la porcelana a través de la formación de una capa intermedia de óxido⁴. Además, la unión ceramometálica mejora la unión física que se produce entre la cerámica y el metal. La rugosidad de la superficie puede facilitar este fenómeno hasta cierto punto. Sin embargo, también puede provocar la formación de huecos en la interfase que pueden influir negativamente en la capacidad de adhesión⁵. Las fuerzas de Van

¹Clinical Assistant Professor, Division of Advanced Prosthodontics, University of California, Los Angeles, California.

²Professor, Department of Prosthodontics, New York University, College of Dentistry, New York, New York.

³Clinical Professor, Department of Biomaterials and Biomimetics, New York University, College of Dentistry, New York, New York.

⁴Associate Professor, Department Epidemiology and Health Promotion, New York University, College of Dentistry, New York, New York.

Correspondencia: Dr. Bhavani Venkatachalam, UCLA School of Dentistry, 10833 Le Conte Ave, Rm B3-087 CHS, Los Angeles, CA 90095. Fax: 310-825-6345. e-mail: bhavaniv@dentistry.ucla.edu

der Waals contribuyen, en parte, a la unión ceramometálica gracias a las fuerzas interatómicas⁵.

Las fuerzas de compresión en un sistema ceramometálico son el resultado de un coeficiente de expansión térmica del metal (CET) ligeramente superior comparado con el de la cerámica de recubrimiento. Una diferencia en el CET de $1,7 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$ entre el metal y la porcelana puede provocar fuerzas de cizalla en la interfase que causarían ineludiblemente la fractura de la unión ceramometálica⁶. La diferencia ideal entre el metal y la porcelana no debería exceder $1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$ ⁶. Sin embargo, el intervalo de fusión, en el caso de las aleaciones de metal, debería ser superior con objeto de poder cocer y glasear la porcelana. Los intervalos de fusión más comunes para las aleaciones dentales oscilan entre los 170 y los 280 $^{\circ}\text{C}$, superiores si se comparan con los de la porcelana⁶.

Parece ser que el fracaso de la unión ceramometálica depende de numerosas variables, que abarcan desde la temperatura de cocción hasta las texturas de las superficies de los sistemas con aleaciones⁷. En 1977 O'Brien⁸, en su teoría de la placa cohesiva no específica, planteaba la hipótesis de que cuando se ejercía una carga sobre un sistema ceramometálico los fallos se producían en áreas en las que la unión era más débil, de manera que si la unión adhesiva entre el metal y la cerámica era suficiente, el fallo sería cohesivo dentro de la cerámica.

La longevidad de una unión ceramometálica ha demostrado depender principalmente de la formación de óxidos metálicos y de la interdifusión de los iones entre el metal y la porcelana².

En las restauraciones ceramometálicas se han empleado numerosos tipos de aleaciones. Las que han demostrado ser más fiables son las aleaciones que contienen metales nobles, especialmente oro, paladio y un pequeño porcentaje de indio. Sin embargo, el principal inconveniente de estas aleaciones es su elevado coste y su falta de adaptabilidad a los diferentes sistemas cerámicos⁵. Carr y Brantley⁸ demostraron que el paladio líquido puede absorber una cantidad excesiva de gas que puede llegar a liberarse durante la fase de colado, provocando numerosas microporosidades.

Las aleaciones de metal base poseen determinadas propiedades ventajosas como son el bajo coste, una mayor resistencia y dureza, y una resistencia a la distorsión superior, aunque en ocasiones presentan una excesiva formación de óxidos, además de una dificultad mayor al pulido y al acabado debido a su baja ductilidad y una capacidad de encoigido superior durante el colado⁵. Saed y McLean¹⁰ demostraron que los óxidos de Ni y Cr en los sistemas de metal base disminuían el porcentaje de expansión de la porcelana Vita (Vitadent) sugiriendo que ello podía inducir tensiones interfaciales provocando el fracaso de las aleaciones de los metales que no son nobles. Mackert y cols.¹¹ postularon que existe una estrecha correlación entre la formación de óxidos y la fuerza de unión ceramometálica. Rake y cols.¹² demostraron unos valores muy elevados de la fuerza de unión en una aleación de oro-paladio con una capa de óxido intacta, en comparación con una aleación base metálica de níquel-cromo.

A pesar de que la cerámica feldespática tradicional ha sido durante décadas y sigue siendo la principal cerámica de elección para las restauraciones de porcelana fundida sobre metal, las nuevas cerámicas prensadas proporcionan ciertas ventajas. Las cerámicas glaseadas prensadas presentan elevadas fuerzas compresivas¹³, así como una resistencia a la fractura, superior al de porcelana tradicional. Este hecho se atribuye a un incremento en la distribución uniforme de leucita en la fase cristalina¹³.

La técnica de la cera perdida aplicada a la cerámica utilizada conjuntamente con los resultados de la cerámica prensada aplicados a la porcelana, es una técnica más simple y rápida que cualquier otra técnica convencional y produce una aceptable precisión marginal¹⁴. Esta técnica también elimina la necesidad de compensar el 20% de la contracción observada al cocer la porcelana tradicional¹⁵.

Los sistemas de porcelana prensada a base de leucita y de baja fusión recientemente introducidos poseen una temperatura de fusión lo suficientemente baja como para ser equivalente a la de las estructuras metálicas disponibles actualmente en el mercado. Además, el CET puede ajustarse hasta alcanzar el intervalo de las subestructuras de metal, hecho que permitiría el uso de estas cerámicas para los sistemas tradicionales ceramometálicos¹⁶.

Se han descrito un ingente número de sistemas de comprobación para estudiar la unión ceramometálica. Ringle y cols.¹⁷ describieron un método para cuantificar la porcelana «adherida» a las muestras ceramometálicas deslaminadas utilizando un microscopio electrónico de barrido. Al comparar las aleaciones de oro con aleaciones de Ni-Cr halló que las aleaciones de oro habían retenido más cantidad de porcelana comparado con las aleaciones base. Hammad y Talic¹⁸ revisaron varios diseños de pruebas que se usaron de forma experimental para evaluar las fuerzas de unión en la interfase porcelana-metal. Se llegó a la conclusión de que no existía ningún sistema capaz de registrar con exactitud las fuerzas de unión y que uno sólo puede hacer una valoración aproximada de los valores reales. Anusavice y cols.¹⁹ llevaron a cabo un análisis de elementos finitos sobre la distribución de las fuerzas en la interfase obtenido a partir de 11 tests sobre la fuerza de deslaminado. Registró que las fuerzas de tensión son superiores en las áreas terminales de la interfase ceramometálica. Papazoglou y Brantley²⁰ llegaron a la conclusión de que una prueba realizada con sumo cuidado podría causar el deslaminado de la cerámica en la región interfacial y no una fisura tensil de la misma (de la cerámica) debido a fuerzas o tensiones de flexión. Afirmaron que los diferentes diseños de los tests habían arrojado valores medios de la fuerza de unión que no podían compararse entre sí debido a los diferentes patrones de tensiones existentes.

A pesar de que en las últimas dos décadas y media se han utilizado múltiples pruebas mecánicas, la prueba de flexión en tres puntos según Schwickerath siguiendo la norma ISO (ISO/FDIS 9693:1999) de más reciente aplicación,²¹ se considera el estándar de referencia para medir la fuerza de la unión ceramometálica.

El objetivo de este estudio consistió en comparar la fuerza de unión de cizallamiento (inicio de deslaminación/for-

Tabla 1 Metales utilizados en este estudio

Metal/composición	Módulo elástico (MPa)	Dureza Vickers	Potencia tensil (MPa)	Elongación (%)	Intervalo de fusión (°C)	Temperatura de colado (°C)	CET (x 10-6 °C)
Argedent 65SF (Noble) Au 65 Pd 26 In 8,65	120	250	690	15	1141–1255	1400	14,4
Gialloy CB (Base) Co 61 Cr 28 Si 1,7 W 8,5 Fe < 0,5 Mn 0,25	190	285	840	10	1320–1420	910–940	14,1

CET, coeficiente de expansión térmica.

Tabla 2 Porcelanas utilizadas en este estudio

Ceramica	Temperatura de fusión (°C)	Fuerza de flexión (MPa)	CET (x 10-6 °C)	Solubilidad (mg/cm ²)
Creation (Feldespática)	920	84	13,3	12
Authentic (prensada)	940	148	17,7	≤ 30

CET, coeficiente de expansión térmica.

Tabla 3 Diferencias en los valores medios de fuerza de deslaminado al comparar dos metales utilizados en este estudio (Argedent y Gialloy)

AN-AB	Media	Estándar error	Intervalo de confianza del 95%	
			Baja unión	Elevada unión
NA	45,29	2,7	39,6	50,9
BA	36,79	2,7	31,1	42,4

Variable dependiente: fuerza

**Figura 1** Muestra de metal tras la aplicación de la porcelana.

mación de grietas) de una cerámica con una cerámica a base de leucita de baja fusión prensada sobre metal (CP) con la porcelana feldespática (PF) fundida sobre metal.

Materiales y métodos

Para este estudio se fabricaron 40 modelos según las normas estandarizadas ISO (ISO/FDIS 9693:1999): 20 con una aleación de metales nobles (AN, oro-paladio) y 20 con una aleación de metal base (AB, cobalto-cromo) (tabla 1).

Se cortaron hojas de cera del calibre 24 (Kerr/Sybron) en tiras con las siguientes medidas: 0,6 mm x 26 mm x 3,5 mm y se colocaron en un molde para obtener modelos metálicos rectangulares. Los patrones de cera se colocaron en un molde para ser colados y se revistieron en un revestimiento de fosfato. Una vez revestidos, los modelos en cera se colocaron en un horno de cocción a temperatura ambiente (Accu-Therm II 250, Heraeus Kulzer, Jelenko). La temperatura fue aumentando gradualmente hasta alcanzar los 800 °C para asegurar la completa eliminación de la cera. Una vez eliminada la cera por quemado los modelos se colaron utilizando una máquina centrifugadora de colado (74 Exac-U-Cast). Posteriormente se eliminó con revestimiento

y se chorrearon con arena (Micro-etcher, Model ERC, Dancille Engineering) durante 15 segundos con partículas de óxido de aluminio de 50 µm a 60 psi. Los modelos de metal se limpiaron en un baño ultrasónico con agua destilada durante 30 minutos.

A cada modelo se le dio forma manualmente, para obtener dimensiones de 25 mm de longitud y 3 mm de anchura mediante un instrumento de pulir (Phoenix Beta, Buehler). Con objeto de obtener un grosor de 0,5 mm los especímenes metálicos se fijaron a un disco pulidor con cemento cianoacrilato (Borden Elmer). Las muestras se extrajeron del disco pulidor con acetona. Para registrar las dimensiones finales se utilizó un calibrador digital (Mitutoyo, n.º de serie 500). Antes de aplicar la cerámica, los especímenes se chorrearon durante 15 segundos con partículas de óxido de aluminio de 50 µm a 60 psi y se limpiaron en un baño ultrasónico con agua destilada durante 30 minutos.

Con el fin de aplicarles porcelana feldespática, se eligieron de forma aleatoria 10 muestras de cada grupo (AN y BN) (tabla 2). Se aplicaron dos capas de «opaquer» (Creapast, Jensen) a los especímenes metálicos y se cocieron individualmente al vacío en un horno calibrado (Commodore 100 UFF, Jelenko) a una temperatura de 980 °C. La por-

celana de la dentina o del cuerpo (Creation, Jensen) se mezcló y condensó sobre la superficie del espécimen metálico y se procedió a su cocción al vacío a una temperatura de 920 °C hasta obtener unas dimensiones de 8 mm x 1 mm x 3 mm. De modo similar, se aplicaron dos capas de «opaquer» a los especímenes restantes de cada uno de los dos grupos y se cocieron individualmente. A continuación se aplicó la cerámica prensada con un grosor de 1 mm.

A continuación los especímenes de cera-metal se colocaron en un molde para ser colados y se revistieron con un revestimiento de fosfato. Posteriormente, la cera se eliminó a 850 °C (Accu-Therm II 250). A continuación porciones de cerámica prensada (tabla 2) obtenidos de cerámica a base de leucita de baja fusión (Authentic, Ceramay) se prensaron sobre los especímenes de metal a 940 °C. Se eliminó el revestimiento de los especímenes ceramometálicos y se chorrearon durante 15 segundos con partículas de óxido de aluminio de 50 µm a 60 psi.

Los especímenes ceramometálicos (figura 3) fueron sometidos a una prueba de flexión en tres puntos (ISO/FDIS 9693:1999) utilizando un aparato de pruebas Instron (Model nº 5566, Instron). Este aparato consiste en dos soportes de metal separados 20 mm entre sí. La muestra se colocó a una distancia equidistante de los soportes metálicos con la superficie de prueba separada de la dirección en la que se aplicaría la carga. Se aplicó una fuerza al centro de cada muestra a través de una varilla de 2 mm de diámetro (Small Parts) a una velocidad de 1,5 mm/min. Cualquier fisura en la unión o deslaminado era indicado por una caída brusca de la carga frente a la extensión visible en la gráfica.

Las fracturas por carga se registraron en Newtons. La fuerza de deslaminado se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$\tau_b = k \times F_{\text{fisura}}$$

donde τ_b = fuerza de inicio de deslaminado/aparición de grietas en MPa; k es la constante, que depende del grosor del espécimen de metal (d_M) y de su módulo elástico (E_M); F_{fisura} = carga de fractura registrada justo antes de deslaminar el espécimen ceramometálico.

Se procedió a examinar una muestra de metal completamente deslaminada de cada grupo a través del microscopio electrónico de barrido (Cambridge Stereoscan 250) a 50 y 500 aumentos. Se analizaron las composiciones de las superficies con un espectrómetro de rayos X con energía de dispersión (Kevex) y a un voltaje acelerado de 20 keV.

De cuatro muestras seleccionadas aleatoriamente, sin deslaminar, se examinaron transversalmente la interfase del metal y la porcelana, a distintos aumentos: 50, 200 y 500 X. Los valores de potencia de deslaminado de los cuatro grupos fueron analizados desde el punto de vista estadístico empleando el ANOVA bidireccional (con dos factores).

Resultados

El grupo formado por las muestras con AB y porcelana feldespática mostró una fuerza media de deslaminado de 36,11 ± 2,31 MPa, mientras que el grupo compuesto por las mues-

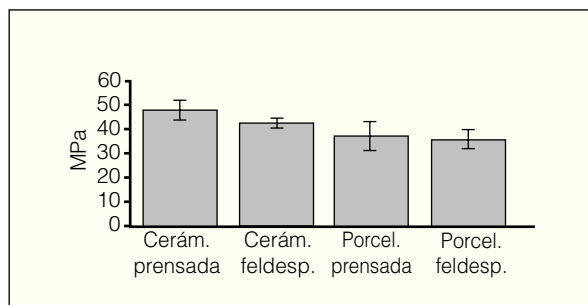


Figura 2 Fuerzas medias de inicio del deslaminado/formación de grietas para los cuatro grupos.

tras con AN y porcelana feldespática mostró una fuerza media de deslaminado de 42,64 ± 1,94 MPa. El grupo formado por las muestras con AB y cerámica prensada mostró una fuerza media de deslaminado de 37,47 ± 6,02 MPa y el compuesto por una aleación de AN y cerámica prensada registró una fuerza media de deslaminado de 47,94 ± 3,92 MPa (figura 2).

Para establecer la comparación entre las fuerzas medias de deslaminado de los cuatro grupos y los efectos de las dos variables (tipo de metal y de porcelana) se empleó el análisis de varianza ANOVA bidireccional ($P > 0,05$). Los resultados del ANOVA no mostraron diferencias estadísticas significativas en relación a la fuerza media de deslaminado entre los dos grupos que contenían la porcelana, ni entre las porcelanas y los metales. Sin embargo, sí se observaron diferencias estadísticas significativas al comparar los valores medios de la fuerza de deslaminado obtenidos entre las dos aleaciones de metal empleadas, Argedent 65SF (AN) y Gialloy (AB), con los elevados valores registrados con las AN (45,29 MPa) al ser comparados con las AB (36,79 MPa) (tabla 3).

No se observaron diferencias significativas en los valores obtenidos en la fuerza media de deslaminado cuando se compararon los dos tipos de porcelana feldespática y de cerámica prensada.

La observación de las muestras sin deslaminar a través del microscopio electrónico de barrido permitió apreciar en éstas el inicio del proceso de formación de grietas (figuras 3 y 4) y de porosidades (figura 5) en las áreas terminales de la interfase porcelana-metal.

No se observaron diferencias aparentes en las superficies deslaminadas en los cuatro grupos (figuras 6a, 6b, 7a y 7b), pero la muestra de cerámica prensada con AN (figura 7a) examinada presentaba más porosidades.

La exploración, a 200 aumentos, de los extremos terminales de la interfase metal-porcelana en todas las muestras demostró que la fisura fue inicialmente cohesiva a través de la cerámica, como se observa en las figuras 8 y 9, que muestran el inicio de una grieta en la capa de opaquer.

El análisis mediante dispersión de rayos X a un voltaje por electrón de 20 kV reveló la presencia de elementos originarios de cada aleación, como oro y paladio en la AN y cobalto y cromo en las AB. En la porcelana también se detectaron elementos como el calcio, aluminio, sílice y potasio.

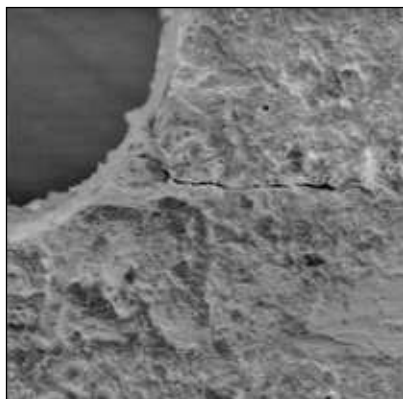


Figura 3 Imagen electrónica secundaria del inicio y la propagación de una grieta en la muestra de porcelana feldespática con AN; 200 aumentos.

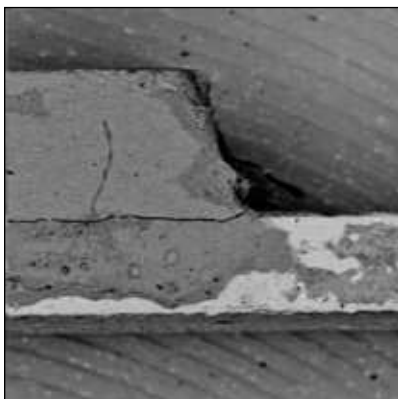


Figura 4 Inicio y propagación de una grieta en el extremo terminal de una muestra de porcelana de cerámica prensada con AN; 50 aumentos.

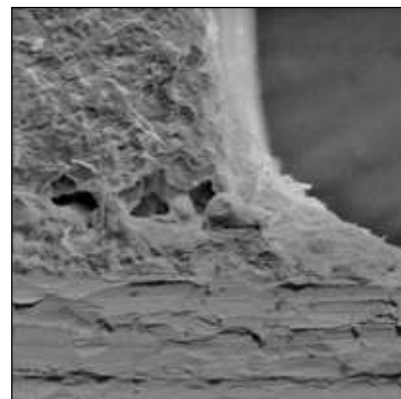


Figura 5 Presencia de huecos en la porcelana, en la muestra de porcelana feldespática con AN no deslaminada; 200 aumentos.

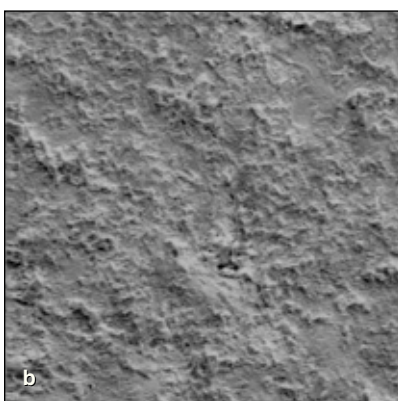
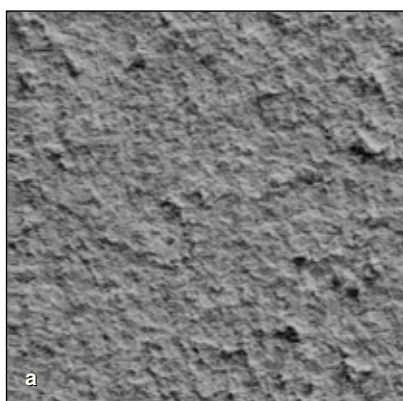


Figura 6 Área de la interfase en un espécimen ceramometálico deslaminado **(a)** del grupo con la porcelana feldespática con AN y **(b)** del grupo de porcelana feldespática con AB; 500 aumentos.

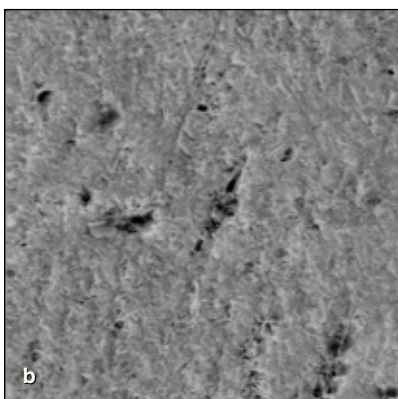
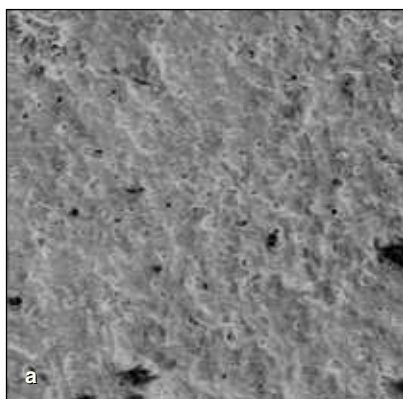


Figura 7 Área de la interfase en un espécimen ceramometálico deslaminado **(a)** del grupo con la cerámica prensada con AN y **(b)** del grupo de la cerámica prensada con AB; 500 aumentos.

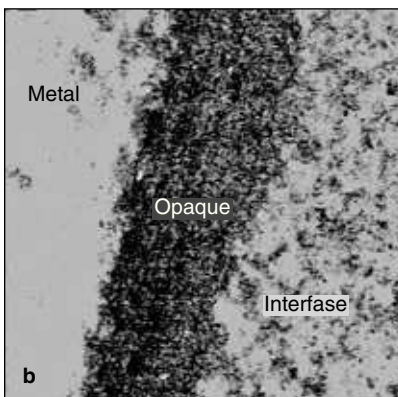
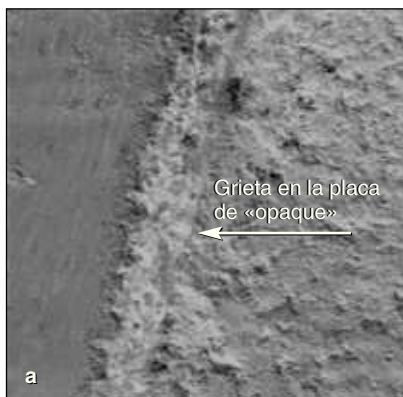


Figura 8 Interfase ceramometálica en el extremo terminal de una muestra perteneciente al grupo de cerámica feldespática con AB vista con 200 aumentos. **(a)** Imagen electrónica secundaria que muestra una grieta en la capa de «opaquer», en el extremo terminal de la muestra. **(b)** Imagen electrónica difusa en la que se distingue el metal, la capa de opaquer y la interfase.

Discusión

Los resultados de este estudio demuestran que no existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de la fuerza media de inicio de deslaminado/formación de grieta (FD/IG) entre una cerámica a base de leucita de baja fusión comprimida sobre metal y la porcelana feldespática fundida sobre metal. En los cuatro grupos hubo muestras que cumplían con el requisito que dicta la norma ISO de que al menos cuatro de las muestras debían presentar una fuerza media de unión (potencia de inicio de deslaminado/formación de grieta) de 25 MPa.

El deslaminado de las muestras ceramometálicas en este estudio presentaba un patrón de progresión desde un extremo de la muestra hasta el otro. Según comentarios de Amusavice y cols.¹⁹ las fuerzas de tensión son superiores en las áreas terminales de la interfase metal-cerámica. Este fenómeno coincide con los hallazgos obtenidos en el presente estudio en el que todas las muestras observadas bajo el microscopio electrónico de barrido demostraban un fallo de tipo cohesivo en ambos extremos terminales de la interfase metal-cerámica y un «modo mixto» de fisura en el resto de muestras en las zonas con una concentración de tensión superior.

Ringle y cols.¹⁷ elaboran un informe sobre un método para medir la porcelana adhesiva de las muestras deslaminadas utilizando un microscopio de rayos X. Las medidas porcentuales de las fisuras cohesivas en la interfase de las muestras deslaminadas aportarían un mejor conocimiento de la naturaleza de la unión adhesiva frente a la cohesiva.

El análisis de varianza bidireccional (ANOVA) demostró una diferencia significativa en las fuerzas de unión entre AN y AB, con independencia del tipo de porcelana. FD/IG está indirectamente relacionado con el módulo elástico del metal (que se basa en el valor de la constante, k). Esto se demuestra a través de los resultados obtenidos en este estudio en el que Gialloy, con un módulo elástico superior, arroja unos valores de potencia de deslaminado inferiores a los de ambos tipos de porcelana.

Otra razón que apoya esta diferencia podría ser la excesiva formación de óxidos observada en algunas ocasiones en la interfase metal-cerámica de las aleaciones base, cuyo resultado es la formación de enlaces químicos débiles entre los metales base y las cerámicas como describieron Shillburg y cols.⁶ A este respecto, Rake y cols.¹² demostraron valores elevados de fuerza de unión en una aleación de oro-paladio con una capa de óxido intacta al compararla con una aleación de metal base de níquel-cromo.

Existe una estrecha correlación entre la formación de óxido y la fuerza de unión ceramometálica. En su teoría de la capa de óxido, Mackert y cols.¹¹ explica que no tan sólo debe estar presente la capa de óxido en la interfase porcelana-metal, sino que debe poderse adherir al metal. Se ha demostrado que el oro forma capas de óxido inestables²², que facilitan la unión. Existe la hipótesis de que ingredientes endurecedores como el estaño o el indio hallados en un aleación de oro facilitan la unión y constituyen una parte crucial a la hora de establecer la unión ceramometálica^{22,23}.

Los óxidos de Ni y de Cr han demostrado que disminuyen el coeficiente de expansión de la porcelana Vita (Vita-dent) en los sistemas cerámicos con aleaciones de metales que no son nobles¹⁰. Se desconoce el efecto del óxido de cromo en las AB de las porcelanas utilizadas en este estudio.

Una de las dos muestras de AN (aleación de oro-paladio) observadas al microscopio electrónico de barrido presentaba numerosas porosidades en su superficie. No obstante, se desconoce la significación clínica de este hecho. Carr y cols.⁹ demostraron que el paladio líquido podía absorber los gases durante el proceso de colado y provocar porosidades durante el mismo. El hecho de examinar otras muestras de AN utilizadas en este estudio demostraría si esto era común en todas las muestras de AN.

En las muestras pertenecientes al grupo de la cerámica prensada se observó una desviación estándar superior en los valores medios de la potencia de deslaminado. Las muestras de este grupo estuvieron sujetas a unos pasos adicionales de revestimiento y de extracción del bebedero del molde para colado. Resulta difícil valorar el efecto exacto que estos procedimientos surtieron en los valores de la potencia de deslaminado. Una vez recuperados los especímenes de cerámica prensadas tras la aplicación de la porcelana se observó que la capa de «opaquer» se había aplicado a la totalidad de la muestra de metal en toda su longitud. La cocción de dos capas de «opaquer» no contribuyó de manera significativa a modificar el grosor de la muestra de metal, y puesto que el grosor del «opaquer» suele rondar las décimas de mm, se puede postular que la extensión de la capa de «opaquer» aplicada a la totalidad de la muestra en toda su longitud no contribuyó a que los valores variaran.

El desajuste ideal entre la cerámica y el metal se halla perfectamente documentado, pero se basa en las técnicas de cocción de la porcelana sobre el metal. Y pese a que es fácil suponer que el cociente de expansión térmica (CET) con la cerámica prensada el desajuste de la porcelana con el metal sería el mismo que el obtenido con la porcelana convencional, según nuestros conocimientos, no existen investigaciones publicadas al respecto. Por lo general, se sabe que las diferencias en el CET equivalentes a $1,7 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}$ o superiores entre los metales y las porcelanas terminan en fuerzas de cizalla en la interfase, lo que podría provocar una fisura definitiva en la unión metal-cerámica⁶.

Únicamente las muestras de porcelana feldespática con AN y con AB de este estudio mostraron diferencias aceptables en los CET. El CET de la cerámica prensada fue superior que el obtenido en los dos metales utilizados en este estudio. Este hecho podría atribuirse a la presencia de cristales de leucita en la cerámica prensada, lo que ha demostrado aumentar el CET de la porcelana²⁴. En este estudio se constató un desajuste en los CET de ambos metales combinados con la cerámica prensada, pero en lugar de presentar unos valores de fuerza de unión inferiores, estos grupos arrojaron valores superiores en los márgenes.

En una situación ideal, la unión ceramometálica debería ser superior a la fuerza de cohesión de la unidad de porcelana (opaquer + cuerpo de la porcelana). Por ello, las frac-

tura cohesiva localizada en cualquier parte de la unidad de porcelana indicaría una unión ceramometálica óptima. En este estudio, los valores obtenidos de potencia de deslaminado en los cuatro grupos se ajustaron a los estándares ISO de 25 Mpa, lo que indicaba una unión buena, pero no revelaba que ningún grupo fuera superior al otro. Se sabe que una vez se ha creado una unión «obligada» en la interfase ceramometálica y se producen fisuras cohesivas, se considera dudosa la interfase «opaquer» y cuerpo de la porcelana. Desde el punto de vista clínico, es justo en esa zona donde fallan la mayoría de las restauraciones ceramometálicas deslaminadas.

Para este estudio se utilizó la prueba de flexión en tres puntos según Schwickerath al inicio de la aparición de las grietas siguiendo la norma ISO. Con objeto de medir la adherencia ceramometálica real o la fuerza hasta provocar la fractura, la prueba que se utilizara debía de provocar el deslaminado de la capa de cerámica sobre la región interfacial y no una fisura tensil de la cerámica como resultado de las fuerzas o tensiones de flexión. Dados los diferentes CET y la aparición de tensiones de superficie interfacial residuales los valores de la potencia de deslaminado sólo pueden considerarse como aproximados²⁰.

Los datos de este estudio indican que pueden existir efectos beneficiosos potenciales en el hecho de combinar aleaciones para el colado dental tradicional con cerámicas prensadas mejoradas, de nueva generación. No obstante, son necesarios más ensayos clínicos para determinar su seguridad.

Conclusiones

Los resultados de este estudio demuestran que:

- No existen diferencias en los valores medios de la fuerza de deslaminado entre una cerámica a base de leucita de baja fusión prensada sobre metal y la porcelana feldespática fundida sobre metal.
- Que existe una fuerza media de deslaminado más elevada en las aleaciones de metales nobles comparados frente a los de metal base, probados con ambos sistemas cerámicos.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por Zubler Geratebau GmbH de Ulm-Jungingen, Alemania.

Bibliografía

1. Campbell SD. A comparative strength study of metal ceramic and all-ceramic esthetic materials: Modulus of rupture. *J Prosthet Dent* 1989;62:476-479.
2. de Melo RM, Travassos AC, Neisser MP. Shear bond strengths of a ceramic system to alternative metal alloys. *J Prosthet Dent* 2005;93:64-69.
3. Bagby M, Marshall SJ, Marshall GW Jr. Metal Ceramic Compatibility: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 1990;63:21-25.
4. Pask JA, Fulrath RM. Fundamentals of glass-to-metal bonding: VIII, nature of wetting and adherence. *J Amer Ceram Soc* 1962;45:592-596.
5. Phillips RW. *Skinner's Science of Dental Materials*, ed 8. Philadelphia: WB Saunders, 1982;25, 523, 524.
6. Shillingburg T, Hobo S, Whitsett LD, et al. *Fundamentals of Fixed Prosthodontics*, ed 3. Chicago: Quintessence, 1997:456.
7. Drummond JL, Randolph RG, Jekkals VJ, Lenke JW. Shear testing of the porcelain-metal bond. *J Dent Res* 1984;63:1400-1401.
8. O'Brien WJ. Cohesive plateau theory of porcelain-alloy bonding. In: *Dental Porcelain: The State of the Art*. Los Angeles: University of Southern California Press, 1977:137-141.
9. Carr AB, Brantely WA. New high-palladium casting alloys: 1. Overview and initial studies. *Int J Prosthodont*. 1991; 4:265-275.
10. Seed IR, McLean JW. The strength of metal-ceramic bonds with base metals containing chromium. A preliminary report. *Br Dent J* 1972;132:232-234.
11. Mackert JR Jr, Ringle RD, Parry EE, Evans AL, Fairhurst CW. The relationship between oxide adherence and porcelain-metal bonding. *J Dent Res* 1998;67: 471-478.
12. Rake PC, Goodacre CJ, Moore BK, Munoz CA. Effect of two opa- quing techniques and two metal surface conditions on metal-ce- ramic bond strength. *J Prosthet Dent* 1995;74:8-17.
13. Drummond JL, King TJ, Bapna MS, Koperski RD. Mechanical pro- perty evaluation of pressable restorative ceramics. *Dent Mater* 2000;16:226-233.
14. Goldin EB, Boyd NW 3rd, Goldstein GR, Hittleman EL, Thompson VP. Marginal fit of leucite-glass pressable ceramic restorations and ceramic-pressed-to-metal restorations. *J Prosthet Dent* 2005;93:143-147.
15. Grossman DG. Cast glass ceramics. *Dent Clin North Am* 1985;29:725-739.
16. Schweitzer DM, Goldstein GR, Ricci JL, Silva NR, Hittelman EL. Comparison of bond strength of a pressed ceramic fused to metal versus feldspathic porcelain fused to metal. *J Prosthodont* 2005;14:239-247.
17. Ringle RD, Mackert JR Jr, Fairhurst CW. An x-ray spectrometric technique for measuring porcelain-metal adherence. *J Dent Res* 1983;62:933-936.
18. Hammad IA, Talic YF. Designs of bond strength tests for metal- ceramic complexes: Review of the literature. *J Prosthet Dent*. 1996;75:602-608.
19. Anusavice KJ, DeHoff PH, Fairhurst CW. Comparative evaluation of metal-ceramic bond tests using finite element stress analysis. *J Dent Res* 1980;59:608-613.
20. Papazoglou E, Brantley WA. Porcelain adherence vs force to fai- lure for palladium-gallium alloys: A critique of metal-ceramic bond testing. *Dent Mater* 1998;14:112-119.
21. ISO 9693: Metal-ceramic bond characterization (Schwickerath crack initiation test), 1999, 6.3. International Organization for Stan- dardization, Geneva, Switzerland.
22. Barghi N, McKeehan-Whitmer M, Aranda R. Comparison of frac- ture strength of porcelain-veneered-to-high noble and base metal alloys. *J Prosthet Dent* 1987;57:22-26.
23. Vickery RC, Badinelli LA. Nature of attachment forces in porce- lain-gold systems. *J Dent Res* 1968;47:683-689.
24. Mackert JR, Evans AL. Quantitative x-ray determination of leuci- te thermal instability in dental porcelain. *J Am Ceram Soc* 1991;74:450-453.