

Adhesión a nuevas superficies restauradoras: materiales híbridos

Laura Ceballos; Carmen Arpa; Carlos González-Serrano; M^a Victoria Fuentes

INTRODUCCIÓN

Las resinas compuestas se han impuesto como material de restauración directa en nuestra actividad clínica diaria debido a sus excelentes propiedades mecánicas y estéticas. No es así en el caso de las restauraciones indirectas, pues las cerámicas siguen siendo el material de elección. No obstante, en los últimos años se han desarrollado nuevos procesos de polimerización, modificaciones en la microestructura y composición de unos materiales resinosos híbridos fabricados en bloques CAD-CAM¹ que han permitido que se conviertan en una alternativa muy atractiva a las cerámicas. Todo ello sumado al auge de una Odontología Restauradora más conservadora con el tejido dental y basada en la digitalización de los procesos.

Estos bloques resinosos CAD-CAM pueden dividirse en dos grupos, de acuerdo a su composición y estructura, que marcarán sus propiedades físico-químicas, así como el tratamiento superficial que debemos llevar a cabo para mejorar sus propiedades adhesivas antes de su cementación. De esta forma, podemos encontrar **bloques CAD-CAM de resina con relleno disperso**, cuya composición y microestructura es similar a la de una resina compuesta convencional, pues presentan un relleno inorgánico compuesto fundamentalmente por vidrio de sílice en una matriz orgánica mayoritariamente de UDMA y TEGDMA, que se polimerizan a alta temperatura (>100°C). Por otro lado, tenemos los **bloques CAD-CAM de una red cerámica infiltrada por polímero (PICN)**, que serían los materiales realmente híbridos que aúnan una matriz de cerámica vítrea presinterizada y porosa con monómeros que la infiltran y que polimerizan a alta temperatura y presión (180°C-300 Mpa)^{1,2}.

La producción industrial de estos bloques hace que presenten una estructura más homogénea con menor presencia de poros o defectos y mejores propiedades mecánicas^{3,4}, un mayor contenido en relleno¹, un mayor grado de conversión^{1,5} y, por tanto, menor liberación de componentes tóxicos^{6,7} y una estética mejorada con mayor estabilidad del color^{8,9}.

Sin embargo, el mayor grado de polimerización de estos bloques limita que queden monómeros residuales o radicales libres para permitir su interacción química con los agentes de cementación resinosos^{1,10,11}. De ahí que se haga imprescindible realizar un tratamiento superficial previo a su cementación. Para estos dos tipos de materiales el tratamiento superficial siempre va a perseguir dos objetivos con el fin de conseguir una adhesión estable a los agentes de cementación y así contribuir al éxito clínico a largo plazo de las restauraciones¹²:

- a. Aumentar la rugosidad de la superficie de la restauración y así permitir la infiltración de los agentes de cementación y su **unión micromecánica**. Los dos procedimientos más importantes para conseguirlo son el grabado con **ácido fluorhídrico** y la **microabrasión**.
- b. Establecer una **unión química** entre el material de restauración y el agente de cementación mediante el uso de agentes: **1) silano, 2) imprimadores o primers de silano que contienen monómeros resinosos, como el 10-MDP, o más recientemente, 3) adhesivos universales**. Estos agentes deberán también mejorar la **humectabilidad** del agente de cementación resinoso con la superficie de nuestra restauración CAD-CAM.

Basándonos en estas premisas vamos a describir a continuación los distintos tratamientos superficiales que se han evaluado en los **bloques CAD-CAM de resina con relleno disperso** y en los **bloques de PICN**, y propondremos un protocolo de cementación simplificado para estos materiales conforme a la evidencia científica disponible.

TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LOS BLOQUES CAD-CAM DE RESINA CON RELLENO DISPERSO

Estos materiales están compuestos por una matriz resinosa polimérica reforzada con una fase de relleno disperso, presentando diferencias en cuanto a la cantidad de relleno, tamaño de las partículas que lo integran y composición de la fase resinosa. Algunos ejemplos de estos bloques CAD-CAM son: Lava Ultimate (3M Oral Care), que fue el primero en surgir al mercado, y que a su vez fue una evolución de Paradigm Z100 (3M). Más tarde aparecieron CERASMART (GC Corp) y su evolución, CERASMART270 (GC Corp), Shofu Block HC (Shofu), BRILLIANT Crios (Coltène), Katana Avencia (Kuraray Noritake Dental Inc.), Grandio blocs (Voco), Brava Block (FGM), AMBARINO High-Class (Creamed), Estelite P Block (Tokuyama) y Tetric CAD (Ivoclar Vivadent). Su composición y el tratamiento superficial que recomiendan los respectivos fabricantes quedan detallados en las **tablas 1 y 2**.

Cabe destacar que la mayoría de los estudios publicados han evaluado la adhesión a Lava Ultimate¹³⁻²⁴, algunos a CERASMART^{14,17-23,25}, siendo muy limitada la información referente a otros materiales como CERASMART270²⁶, BRILLIANT Crios^{19,21,22}, Shofu Block HC^{21-23,26}, Grandio blocs^{22,27,28} o Estelite Block²⁶.

T1 Bloques CAD-CAM de materiales híbridos disponibles comercialmente (febrero 2020).

Material (Fabricante)	Composición	
	Matriz	Relleno (% en peso)
Bloques CAD-CAM de resinas con relleno disperso		
Lava Ultimate (3M Oral Care)	UDMA, Bis-GMA, Bis-EMA y TEGDMA	(79%) Partículas de zirconia de 4-11 nm y sílice de 20 nm aisladas o en conglomerados silanizados.
CERASMART270 (GC)	Bis-MEPP, UDMA, DMA	(77%) Partículas de sílice de 20 nm y de bario de 300 nm.
Shofu Block HC (Shofu)	UDMA, TEGDMA	(61%) Partículas de sílice pirogénica, dióxido de silicio y silicato de zirconio.
Brilliant CRIOS (Coltene)	Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA, ácido silícico	(70,7%) Partículas de sílice y bario.
Tetric CAD (Ivoclar Vivadent)	Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA, UDMA	(71,1%) Partículas de dióxido de silicio (<20 nm) y bario (<1 µm).
Brava Block (FGM)	Información no disponible	(72-82%) Partículas de 40 nm-5 µm.
Ambarino High Clas (Creamed)	Bis-GMA, UDMA, BDMA	(70,1%) Partículas de sílice de 0,1-10 µm.
VOCO Grandio blocs (VOCO)	UDMA, DMA	(86 %) Partículas de tipo nanohíbrido.
KZR-CAD HR2 (YAMAKIN)	UDMA, DEGDMA	(72%) Partículas de SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ (200-600 nm), sílice (20 nm-100 nm), relleno para liberación de flúor (700 nm).
ESTELITE P BLOCK (Tokuyama Dental)	Bis-MPEEP, UDMA, NPGDMA	(81%) Partículas de sílice y zirconia.
LuxaCam Composite (DMG)	"Metacrilatos"	(70%) Partículas de SiO ₂ .
Bloques CAD-CAM de una red cerámica infiltrada por polímero (PICN)		
VITA ENAMIC (VITA)	UDMA, TEGDMA	(86%) Estructura tridimensional presinterizada de: SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Na ₂ O, K ₂ O, B ₂ O ₃ , CaO, TiO ₂ .

UDMA: dimetacrilato de uretano; **Bis-GMA:** bisfenol A glicidil dimetacrilato; **Bis-EMA:** bisfenol A dimetacrilato etoxilado; **TEGDMA:** trietilen glicol dimetacrilato; **Bis-MEPP:** 2,2-Bis (4-metacriloxipoli-etoxifenil) propano; **DMA:** dimetacrilato; **BDMA:** butanodiol dimetacrilato; **DEGDMA:** dietilenglicol dimetacrilato; **Bis-MPEEP:** 2,2,bis (4-metacriloxipoli-etoxifenil) propano; **NPGDMA:** dimetacrilato de neopentilglicol.

T2 Tratamiento superficial recomendado por los fabricantes para el cementado de los bloques CAD-CAM de materiales híbridos (disponibles en Europa en febrero 2020).

Material	Preparación unión micromecánica					Limpieza			Promoción unión química		
	Microarenado			Fresa	Ácido fluorhídrico 5%	Ácido ortofosfórico 35-37%	Baño ultrasónicos	Alcohol	Silano	Primer de silano: (Silano + monómeros funcionales)	Adhesivo*
	25 µm	50 µm	100 µm								
Composites CAD-CAM											
Lava Ultimate	1							2			3
CERASMART270	1A				1B	2A		2B	3A	3B	
Shofu Block HC		1						2	3 (Cemento de resina adhesivo)		
Brilliant CRIOS	1						2A	2B		3	
Tetric CAD		1						2			3
Brava Block		1					2	3		4	5
Ambarino High Clas	1A**			1B							2
VOCO Grandio blocs	1						2	3***	4		5
KZR-CAD HR2		1				2			3A		3B
LuxaCam Composite		1						2			3
PICN											
VITA ENAMIC					1		2		3		

Números 1,2,3...indican la secuencia de pasos. Letras A y B indican diferentes opciones para el mismo paso. * Adhesivo Universal o convencional; ** Tamaño de partícula indeterminado; *** Paso opcional. Consultar última información publicada del fabricante para mayor detalle de la secuencia de uso.

PRIMER PASO EN CLÍNICA: Aumentar la rugosidad para permitir una unión micromecánica

En la cementación de estos composites CAD-CAM se considera imprescindible realizar un tratamiento que aumente su rugosidad antes de su cementación. El establecimiento de una interfase adhesiva resistente y duradera se basaría en esta unión micromecánica, más que en la adhesión química entre el agente de cementación y el composite^{22,29,30}.

La microabrasión con partículas se considera la opción más efectiva para mejorar las propiedades adhesivas de estos materiales^{2,12,21}, pues aporta un aumento significativo de la resistencia adhesiva de la interfase generada en comparación con no realizar ningún tratamiento^{17,19,21,29,31,32}.

Conforme a la evidencia científica, el protocolo de **microabrasión** más efectivo para asperizar composites indirectos sería utilizando partículas de alúmina de 50 μm con una presión entre 1-2 bar (0.1-0.2 MPa), a una distancia de 1 cm^{10,12,21,23,31,33}. Este tratamiento expone una superficie fresca y limpia de composite, sin restos del fresado y con una rugosidad aumentada, lo que redundará en un aumento de la energía superficial y de su humectabilidad²² (**fig. 1**). Por tanto, se convertiría en una superficie más receptiva a un procedimiento adhesivo^{13,21,23}. Strasser *et al.*,²² cuantificaron que el microarenado con partículas de alúmina de 50 μm con una presión de 1 bar produce un aumento del 700% en la rugosidad superficial y del 25% de su energía superficial.

Hay que considerar que tanto el pretratamiento como el protocolo adhesivo tienen que ser a medida, conforme a las características microestructurales de cada material CAD-CAM. Hay composites CAD-CAM más susceptibles a un proceso de microabrasión por tener menor dureza, como le ocurre a CERASMART en comparación con Lava Ultimate^{17,25}, o algunos incluso pueden presentar daños superficiales, como Shofu Block HC²³. Además, es muy importante controlar los parámetros con los que se realiza la microabrasión porque tamaños de partículas mayores o presiones más altas dañan la superficie de los composites generando microfisuras²¹⁻²³.

Otra forma de realizar la microabrasión es aplicando partículas de alúmina de 30 μm recubiertas de sílice, procedimiento que se conoce también como silicización o tratamiento triboquímico. Sin embargo, no se ha descrito ningún beneficio en la resistencia adhesiva cuando se ha comparado con el uso de partículas de alúmina^{19,32,34,35}. En cuanto al efecto en la rugosidad superficial, los resultados descritos dependen del material evaluado, por ejemplo, no hay diferencias destacables en el caso de Lava Ultimate^{14,15}, mientras que se consigue mayor rugosidad cuando se aplica en CERASMART¹⁴.

La aplicación de ácido fluorhídrico también se ha propuesto como tratamiento para aumentar la rugosidad de estos materiales CAD-CAM (**fig. 1**). No obstante, no hay consenso en la literatura en cuanto a la magnitud de su efecto y la repercusión que pueda tener en la resistencia adhesiva de la interfase generada, en comparación con la microabrasión. Hay autores que no observan un aumento de la rugosidad superficial tras la aplicación de ácido fluorhídrico al 10%², o que el efecto producido no es tan marcado^{18,20}. Sin embargo, para Strasser *et al.*,²² el ácido fluorhídrico produce una disolución superficial de los componentes cerámicos de los composites que produce un aumento limitado de su rugosidad, aunque marcado de la energía superficial.

Algunos autores han descrito un efecto beneficioso en la resistencia adhesiva de la interfase generada después de realizar el grabado con ácido fluorhídrico seguido de la aplicación de silano, siendo similar al efecto conseguido con la microabrasión con partículas de alúmina de 50 μm , por ejemplo, para Lava Ultimate^{19,29}. Por el contrario, otros autores describen una disminución de la resistencia adhesiva para la mayor parte de los composites en comparación con los valores obtenidos tras la microabrasión^{2,16,19,36}, incluyendo Lava Ultimate^{16,19,36}.

Por último, también se ha estudiado la asperización con fresas (de diamante de grano grueso 125 μm) como tratamiento superficial de estos composites CAD-CAM, proponiéndose como procedimiento para la reparación intraoral de estos materiales^{15,20,22}, pues producen un aumento de la rugosidad y energía superficiales mayor que el de la microabrasión²² sin producir daños superficiales.

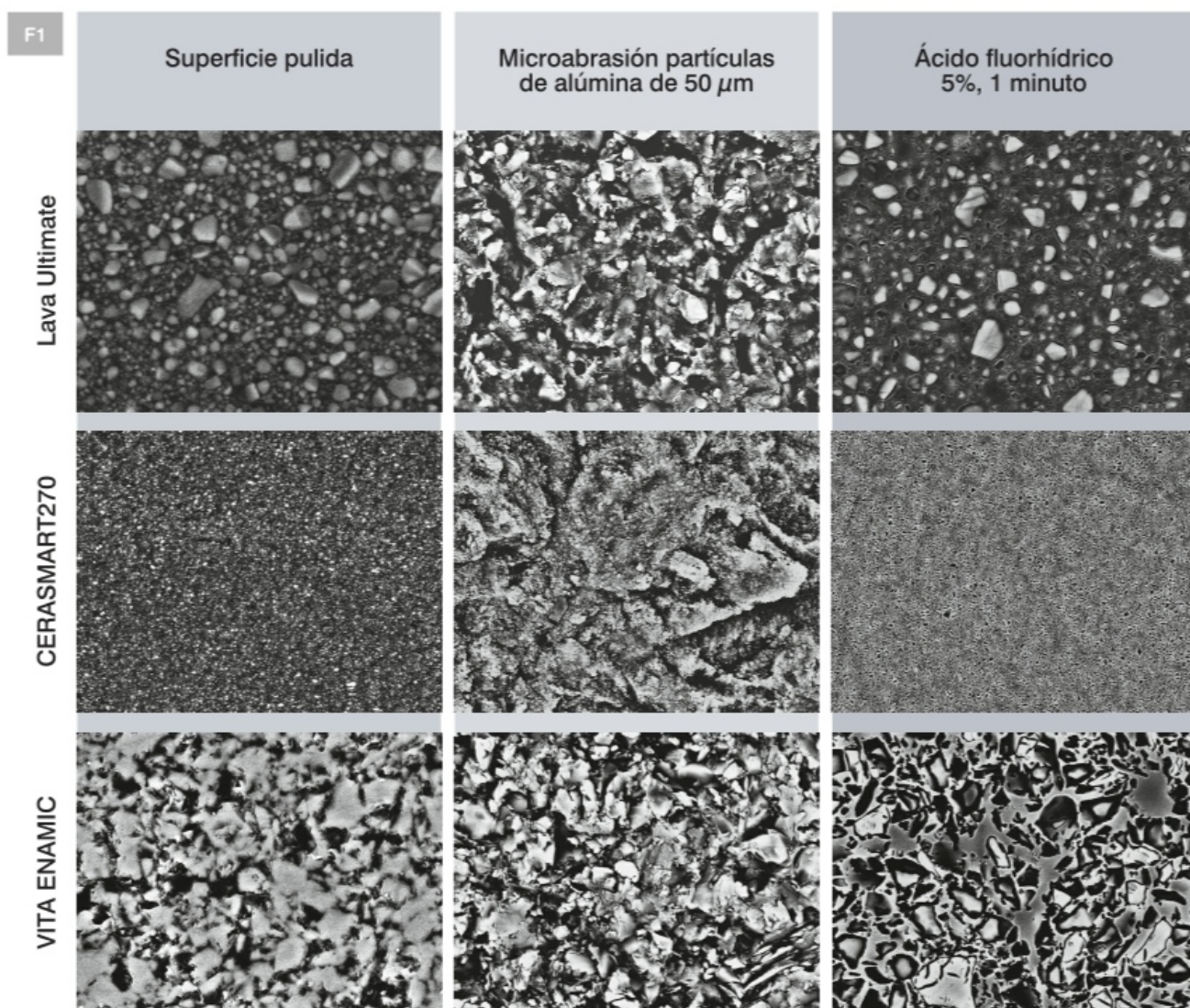


Fig. 1. Imágenes de microscopía electrónica de barrido a 1500 aumentos de Lava Ultimate, CERASMART270 y VITA ENAMIC.

Superficies pulidas: En el caso de Lava Ultimate destaca el tamaño heterogéneo de las partículas de relleno, siendo mucho más homogéneo y con partículas de un tamaño mucho menor para CERASMART270. En el caso de VITA ENAMIC se identifica la estructura cerámica porosa rellena del polímero.

Microabrasión con partículas de alúmina de 50 μm : El tratamiento produce un aumento drástico de la rugosidad superficial en los tres materiales evaluados lo que permite la penetración posterior de los agentes de cementación.

Grabado con ácido fluorhídrico al 5% durante 1 minuto: Se observa que en la superficie de Lava Ultimate este tratamiento produce la disolución de la superficie externa de las partículas de relleno ocasionando su desprendimiento o la aparición de espacios vacíos entre las partículas y el relleno. También destaca la protrusión de las partículas sobre la superficie. En el caso de CERASMART270 el desprendimiento de las partículas da lugar a la aparición de una superficie muy porosa con espacios vacíos redondos de un tamaño muy reducido en correspondencia con el tamaño y forma de las partículas de relleno perdidas. Por último, el grabado de VITA ENAMIC hace que se disuelva parcialmente la estructura cerámica dando lugar a múltiples poros con una morfología muy irregular que aumentan la superficie adhesiva.

SEGUNDO PASO EN CLÍNICA: Eliminar los restos del procedimiento realizado para aumentar la rugosidad superficial

La mayoría de los fabricantes recomiendan eliminar los restos de las partículas o del ácido del grabado mediante la inmersión en un baño de ultrasonidos o la aplicación de alcohol (Tabla 2). Otra opción propuesta es grabar con ácido ortofosfórico la superficie adhesiva, puesto que no produce ningún cambio en la rugosidad superficial de estos materiales ejerciendo únicamente una acción de limpieza²². Se utilizaría el mismo ácido que aplicamos para grabar los tejidos duros dentales, en una concentración entre 32-40%, durante 15-30 segundos, sin que sea especialmente relevante este último aspecto.

TERCER PASO EN CLÍNICA: Promover la unión química entre los composites CAD-CAM y los agentes de cementación resinosos

La aplicación de un agente silano se considera fundamental por algunos autores para sumar a la unión micromecánica, una unión química entre el composite CAD-CAM y los agentes de cementación resinosos^{23,25,29}. Los agentes silanos comercializados son una solución alcohólica de 3-metacriloxipropil trimetoxisilano (MPS) en una concentración entre el 1-10% en volumen, según el producto en concreto³⁷. Suelen tener un pH entre 2 y 6 para permitir su hidrólisis y, por tanto, su activación, presentándose en un solo bote prehidrolizados y listos para ser utilizados³⁷.

Los silanos son moléculas bifuncionales y su acción se basa en la unión al relleno del composite por la presencia de grupos silanol activos en uno de sus extremos (Si-OH). Este silanol reaccionaría con la sílice del relleno inorgánico de los composites (uniones siloxano)^{28,31} y, por su otro extremo, con los dobles enlaces de los monómeros metacrilato libres en la fase resinosa de ese composite y en los agentes de cementación³⁷. Además, los silanos aumentan la energía superficial y humectabilidad de la superficie adhesiva de forma significativa.

Sin embargo, en el caso de la adhesión a composites CAD-CAM no está muy claro cómo interaccionan los silanos, el mecanismo es complejo, y hay autores que no han evidenciado en sus estudios ningún beneficio en su aplicación^{2,13,16,28,30,32,38}, o, incluso, una reducción de la resistencia adhesiva¹⁹. Las causas atribuidas son varias: no todos los composites presentan sílice en su relleno que permita la reacción química con los silanos y, además, no presentan casi monómeros libres disponibles. Por otro lado, Yano *et al.*,²⁶ han descrito que, aunque se abrasionen previamente, en su superficie permanece una capa de resina que envuelve las partículas de relleno y dificultaría la reacción entre los grupos silanol y los radicales -OH del relleno de composite. Y, por último, su utilidad dependería no sólo de la composición del relleno inorgánico, sino también del tamaño de las partículas de relleno de los composites CAD-CAM. De esta forma, el efecto de los silanos aumentaría en relevancia conforme mayor es el tamaño de esas partículas, distinguiendo entre los que tienen relleno submicrónico, micrónico y nanorelleno, siendo mínimo para los de nanorelleno como Katana Avencia²⁶.

Además de esta forma de presentación de los silanos, en los últimos años han surgido imprimadores o *primers* que además de silano en solución alcohólica contienen monómeros funcionales ácidos, fundamentalmente 10-MDP (un ejemplo sería Monobond Plus de Ivoclar Vivadent) o se ha incorporado el silano a los adhesivos universales que también contienen monómeros funcionales, como Scotchbond Universal (3M Oral Care) o Clearfil Universal Bond (Kuraray Noritake Dental Inc.).

TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LOS BLOQUES CAD-CAM DE PICN

El único material comercializado que se considera un PICN es Vita ENAMIC. Está formado principalmente por un esqueleto de cerámica feldespática porosa (86% en peso) infiltrada con una matriz polimérica (14% en peso) (**Tabla 1**). Está indicado para confeccionar coronas, incrustaciones y carillas.

Puesto que su composición es eminentemente cerámica, el tratamiento superficial recomendado por el fabricante, y en el que coinciden la mayoría de los autores se basaría en crear microrretenciones mediante la aplicación de ácido fluorhídrico al 5% durante 60 segundos junto con el uso de un agente silano^{13,15,16,19,20,25,29,42,43}. A continuación, se describen con mayor detalle los efectos de ambos tratamientos y otras propuestas.

PRIMER PASO EN CLÍNICA: Aumentar la rugosidad para permitir una unión micro-mecánica

El ácido fluorhídrico disuelve de forma selectiva la fase vítrea de Vita ENAMIC y expone su matriz polimérica^{13,22,40,42}. Esto da lugar a una modificación de su morfología superficial, con la aparición de microirregularidades y microporos dispuestos al azar que redundan en una superficie con mayor humectabilidad y área adhesiva^{13,42-45} (**fig. 1**). Este aumento de la rugosidad superficial permitirá el entrecruzamiento mecánico del agente de cementación¹³, alcanzando la interfase generada, una tenacidad de fractura superior a la conseguida con otros métodos¹⁹.

El fabricante recomienda aplicar ácido fluorhídrico al 5% durante 60 segundos, lo cual, según cuantificaron Strasser *et al.*,²² producía un aumento de la rugosidad del 125%, junto con una disminución de la energía superficial.

Parece ser que, especialmente el uso de adhesivos universales con monómeros metacrilato funcionales mejora la unión entre el composite CAD-CAM y el agente de cementación más que el uso de un imprimador de silano^{10,13,19,21,28,32}. Su efectividad se debería a la acción de los monómeros funcionales, no a la presencia de silano, pues éste parece inactivarse al sufrir una reacción de condensación provocada por el pH ácido de estos adhesivos y la presencia de agua, lo que reduce la presencia de silanol disponible^{24,39}.

El mecanismo de acción de estos adhesivos universales se debería, fundamentalmente, a su capacidad para reaccionar con la fase inorgánica de los composites CAD-CAM aunque también sería posible con la orgánica^{21,40}. Los monómeros fosfatados funcionales, como el 10-MDP, pueden unirse químicamente al relleno disperso de zirconio de los composites^{10,32,41}. En cuanto a la unión con la fase orgánica, los monómeros pueden penetrar en la matriz del composite CAD-CAM y polimerizar allí creando una red interpenetrante²¹ y los radicales metacrilato podrían reaccionar con los monómeros que quedaran libres sin polimerizar en el composite CAD-CAM^{28,40}.

La aplicación de ácido fluorhídrico a una concentración más elevada, como 10%, produciría una disolución mayor de la fase vítrea, disminuyendo el contenido superficial de sílice disponible para la interacción posterior con el agente silano⁴⁶. Además, aunque la rugosidad creada sea superior, este parámetro no siempre está relacionado con una mayor resistencia adhesiva, existiendo un riesgo de que se produzcan daños en la superficie del material si se aplican tiempos o concentraciones mayores⁴⁶. Sin embargo, otros autores no observan diferencias en la resistencia adhesiva cuando aplican ácido fluorhídrico al 5 ó 10%, durante 20 ó 60 segundos⁴⁷.

La microabrasión con partículas de alúmina también se ha propuesto como un tratamiento válido para aumentar la rugosidad superficial, la humectabilidad y el área adhesiva de Vita ENAMIC con el fin de permitir el entrecruzamiento del agente de cementación^{13,15,44} (**fig. 1**). Aunque algunos autores han descrito que se genera una superficie más rugosa, incluso que con ácido fluorhídrico¹³, no conllevaría una mayor resistencia adhesiva de la interfase generada^{13,16,29,40}.

La microabrasión habría de realizarse, al igual que para composites CAD-CAM con relleno disperso, controlando el tamaño de partículas y la presión con que se aplican para evitar posibles daños en el material¹⁹. Se recomienda aplicar partículas de 50 μm a 1 o 2 bar, lo que supone un aumento del 225% en la rugosidad²². El uso de partículas de mayor tamaño, véase de 120 μm y 2 bar ya produce fisuras en la superficie del material²². Esa microabrasión también se podría realizar mediante la silicatización consiguiendo un efecto similar en la rugosidad^{13,15}.

La asperización mediante una fresa de diamante también consigue aumentar de forma eficaz la rugosidad y la energía superficial de Vita ENAMIC^{13,20,44}, proponiéndose también como un método eficaz en la reparación intraoral de este material⁴⁸.

SEGUNDO PASO EN CLÍNICA: Eliminar los restos del procedimiento realizado para aumentar la rugosidad superficial

El fabricante recomienda eliminar los restos del ácido fluorhídrico mediante la inmersión en un baño de ultrasonidos durante 60 segundos (**Tabla 2**). Al igual que en el caso de los composites CAD-CAM de relleno disperso, la aplicación de ácido ortofosfórico también podría ejercer ese efecto de limpieza puesto que no altera la rugosidad de este material^{22,42}.

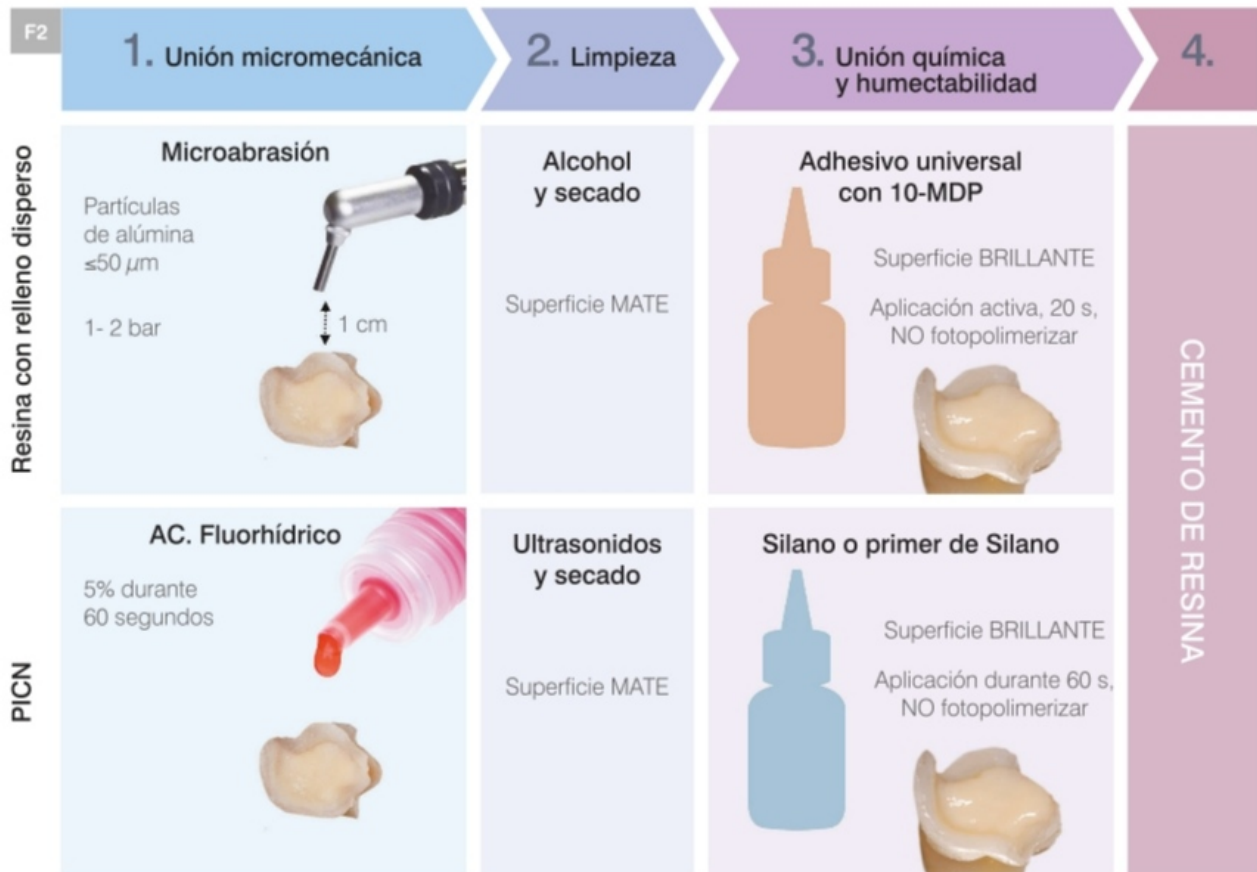
TERCER PASO EN CLÍNICA: Promover la unión química entre el PICN y los agentes de cementación resinosos

Como anteriormente se ha indicado, la combinación de la aplicación de ácido fluorhídrico y un agente silano sería el tratamiento de elección^{13,19,20,43,49}, pues la composición eminentemente cerámica de Vita ENAMIC hace que el efecto de la silanización sea mucho mayor que en los composites CAD-CAM de relleno disperso^{26,42}.

Por un lado, los grupos silanol reaccionan fuertemente con la sílice de la superficie cerámica formando uniones siloxano y, en menor medida, con los componentes del polímero del PICN, y su otro extremo polimeriza con los grupos metacrilato de los agentes de cementación por polimerización mediante radicales libres^{45,49}.

También se ha propuesto la aplicación de adhesivos universales que contengan silano en su composición⁴⁸. Sin embargo, la resistencia adhesiva conseguida no es tan alta como la que se obtiene cuando se utilizan agentes silano, imprimadores de silano^{24,43,44}, o si se mezclan silano y un adhesivo universal y esta combinación se aplica sobre la restauración^{24,43,44}. Por tanto, los adhesivos universales no serían un sustituto válido de los silanos o los imprimadores de silano^{13,42}.

Recientemente han surgido nuevas versiones de los adhesivos universales que parecen solventar este problema, pero aún no hay información disponible en la literatura científica que lo ratifique.



Una de las razones argüidas es que el contenido en silano en los adhesivos universales (aproximadamente el 10% en volumen) no sería suficiente para conseguir la misma resistencia que el uso de un silano por separado⁴⁴. Otra es que los adhesivos universales son una solución acuosa ácida y la presencia de agua y el pH favorecerían la hidrólisis e inactivación del silanol reduciendo su efectividad en la adhesión a la cerámica, tal y como antes se apuntó^{24,26}. Además, al contrario de lo que ocurría en el tratamiento de los composites CAD-CAM de relleno disperso, la presencia de 10-MDP en estos adhesivos no parece contribuir a la adhesión a las cerámicas vítreas ni al Vita ENAMIC²⁶, y la reacción con la matriz polimérica estará muy limitada por su alto grado de conversión que hace que no haya monómeros sin reaccionar con los que interaccionar.

Otro tratamiento superficial propuesto es Monobond Etch & Prime (Ivoclar-Vivadent) que consiste en una única solución de polifluoruro de amonio y silano, pero sin aplicar ácido fluorhídrico previamente. Por tanto, simplificaría el procedimiento al grabar y silanizar simultáneamente⁴⁵, reduciendo el riesgo asociado al uso del ácido fluorhídrico. Aunque su capacidad de grabado es menor que la del ácido fluorhídrico, produciendo un patrón de grabado más suave y menos rugoso^{22,45,50}, la resistencia adhesiva de la interfase generada parece ser similar^{45,47,50}.

Por tanto, se puede concluir que establecer un protocolo genérico y único para todos los materiales disponibles en el mercado no es fácil, dadas las diferencias estructurales que presentan y la ausencia de estudios *in vitro* y clínicos con muchos de estos bloques CAD-CAM híbridos. Sin embargo, considerando lo anteriormente expuesto y las instrucciones de los fabricantes, proponemos el protocolo que queda reflejado en la **figura 2** para bloques CAD-CAM de resina con relleno disperso y PICN.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mainjot AK, Dupont NM, Oudkerk JC, Dewael TY, Sadoun MJ. From Artisanal to CAD-CAM Blocks: State of the Art of Indirect Composites. *J Dent Res* 2016;95:487-95.
2. Eldafrawy M, Greimers L, Bekaert S, et al. Silane influence on bonding to CAD-CAM composites: An interfacial fracture toughness study. *Dent Mater* 2019;35:1279-90.
3. Nguyen JF, Migonney V, Ruse ND, Sadoun M. Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization. *Dent Mater* 2012;28:529-34.
4. Lauvahutanon S, Takahashi H, Shiozawa M, et al. Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dent Mater J* 2014;33:705-10.
5. Göncü Başaran E, Ayna E, Vallittu PK, Lassila LVJ. Load-bearing capacity of handmade and computer-aided design-computer-aided manufacturing-fabricated three-unit fixed dental prostheses of particulate filler composite. *Acta Odontol Scand* 2011;69:144-50.
6. Phan AC, Tang ML, Nguyen JF, Ruse ND, Sadoun M. High-temperature high-pressure polymerized urethane dimethacrylate - Mechanical properties and monomer release. *Dent Mater* 2014;30:350-6.
7. Atay A, Gürdal I, Bozok Çetintas V, Üşümez A, Cal E. Effects of New Generation All-Ceramic and Provisional Materials on Fibroblast Cells. *J Prosthodont* 2019;28:e383-94.
8. Stawarczyk B, Sener B, Trottmann A, Roos M, Özcan M, Hammerle CHF. Discoloration of manually fabricated resins and industrially fabricated CAD/CAM blocks versus glass-ceramic: Effect of storage media, duration, and subsequent polishing. *Dent Mater J* 2012;31:377-83.
9. Güth JF, Zuch T, Zwing S, Engels J, Stimmelmayer M, Edelhoff D. Optical properties of manually and CAD/CAM-fabricated polymers. *Dent Mater J* 2013;32:865-71.
10. Stawarczyk B, Krawczuk A, Ilie N. Tensile bond strength of resin composite repair in vitro using different surface preparation conditionings to an aged CAD/CAM resin nanoceramic. *Clin Oral Investig* 2015;19:299-308.
11. Keul C, Müller-Hahl M, Eichberger M, et al. Impact of different adhesives on work of adhesion between CAD/CAM polymers and resin composite cements. *J Dent* 2014;42:1105-14.
12. Spitznagel FA, Horvath SD, Guess PC, Blatz MB. Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: A review of the literature. *J Esthet Restor Dent* 2014;26:382-93.
13. Elsaka SE. Bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to self-adhesive resin cement: The effect of surface treatments. *J Adhes Dent* 2014;16:531-40.
14. Alp G, Subaşı MG, Johnston WM, Yılmaz B. Effect of different resin cements and surface treatments on the shear bond strength of ceramic-glass polymer materials. *J Prosthet Dent* 2018;120:454-61.
15. Verissimo AH, Monielle D, Moura D, et al. Effect of different repair methods on the bond strength of resin composite to CAD/CAM materials and microorganisms adhesion: An in situ study. *J Dent* 2020;93:103266.
16. Frankenberger R, Hartmann E, Braun A, et al. Adhesive luting of new CAD/CAM materials. *Int J Comput Dent* 2015;18:9-20.
17. Capa N, Can Say E, Celebi C, Casur A. Microtensile bond strengths of adhesively bonded polymer-based CAD/CAM materials to dentin. *Dent Mater J* 2019;38:75-85.
18. Cekic-Nagas I, Ergun G, Egilmez F, Vallittu PK, Lassila LVJ. Micro-shear bond strength of different resin cements to ceramic/glass-polymer CAD-CAM block materials. *J Prosthodont Res* 2016;60:265-73.
19. Emsermann I, Eggmann F, Krastl G, Weiger R, Amato J. Influence of Pretreatment Methods on the Adhesion of Composite and Polymer Infiltrated Ceramic CAD-CAM Blocks. *J Adhes Dent* 2019;21:433-43.
20. Güngör MB, Nemli SK, Bal BT, Ünver S, Dogan A. Effect of surface treatments on shear bond strength of resin composite bonded to CAD/CAM resin-ceramic hybrid materials. *J Adv Prosthodont* 2016;8:259-66.
21. Reymus M, Roos M, Eichberger M, Edelhoff D, Hickel R, Stawarczyk B. Bonding to new CAD/CAM resin composites: influence of air abrasion and conditioning agents as pretreatment strategy. *Clin Oral Investig* 2019;23:529-38.
22. Strasser T, Preis V, Behr M, Rosentritt M. Roughness, surface energy, and superficial damages of CAD/CAM materials after surface treatment. *Clin Oral Investig* 2018;22:2787-97.
23. Yoshihara K, Nagaoka N, Maruo Y, Nishigawa G, Irie M, Yoshida Y, et al. Sandblasting may damage the surface of composite CAD-CAM blocks. *Dent Mater* 2017;33:e124-35.
24. Yoshihara K, Nagaoka N, Sonoda A, et al. Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in 'universal' adhesives. *Dent Mater* 2016;32:1218-25.
25. Lise DP, Van Ende A, De Munck J, Vieira LCC, Baratieri LN, Van Meerbeek B. Microtensile bond strength of composite cement to novel CAD/CAM materials as a function of surface treatment and aging. *Oper Dent* 2017;42:73-81.
26. Yano HT, Ikeda H, Nagamatsu Y, Masaki C, Hosokawa R, Shimizu H. Correlation between microstructure of CAD/CAM composites and the silanization effect on adhesive bonding. *J Mech Behav Biomed Mater* 2020;101:103441.
27. Shinohara A, Taira Y, Sawase T. Effects of tributylborane-activated adhesive and two silane agents on bonding computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) resin composite. *Odontology* 2017;105:437-42.
28. Shinohara A, Taira Y, Sakihara M, Sawase T. Effects of three silane primers and five adhesive agents on the bond strength of composite material for a computer-aided design and manufacturing system. *J Appl Oral Sci* 2018;26:1-7.
29. Peumans M, De Munck J, Van Meerbeek B, Valjakova EB, Mishevskia CB. Bonding effectiveness of luting composites to different CAD/CAM materials. *J Adhes Dent* 2016;18:289-302.
30. Cura M, González-González I, Fuentes V, Ceballos L. Effect of surface treatment and aging on bond strength of composite resin onlays. *J Prosthet Dent* 2016;116:389-96.
31. Ali A, Takagaki T, Nikaido T, Abdou A, Tagami J. Influence of ambient air and different surface treatments on the bonding performance of a CAD/CAM composite block. *J Adhes Dent* 2018;20:317-24.
32. Arpa C, Ceballos L, Fuentes MV, Perdigão J. Repair bond strength and nanoleakage of artificially aged CAD-CAM composite resin. *J Prosthet Dent* 2019;121:523-30.
33. Özcan M, Volpato CAM. Surface conditioning and bonding protocol for nanocomposite indirect restorations: How and why? *J Adhes Dent* 2016;18:82-82.
34. Wiegand A, Stucki L, Hoffmann R, Atin T, Stawarczyk B. Repairability of CAD/CAM high-density PMMA- and composite-based polymers. *Clin Oral Investig* 2015;19:2007-13.
35. Loomans BAC, Mesko ME, Moraes RR, et al. Effect of different surface treatment techniques on the repair strength of indirect composites. *J Dent* 2017;59:18-25.
36. Duzyol M, Sagsoz O, Polat Sagsoz N, Akgul N, Yildiz M. The Effect of Surface Treatments on the Bond Strength Between CAD/CAM Blocks and Composite Resin. *J Prosthodont* 2016;25:466-71.
37. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dent Mater* 2018;34:13-28.
38. Fuentes M V, Ceballos L, González-López S. Bond strength of self-adhesive resin cements to different treated indirect composites. *Clin Oral Investig* 2013;17:717-24.
39. Dimitriadis M, Zafropoulou M, Zinelis S, Silikas N, Eliades G. Silane reactivity and resin bond strength to lithium disilicate ceramic surfaces. *Dent Mater* 2019;35:1082-94.
40. Yu H, Özcan M, Yoshida K, Cheng H, Sawase T. Bonding to industrial indirect composite blocks: A systematic review and meta-analysis. *Dent Mater* 2019;36:119-34.
41. Chuang SF, Kang LL, Liu YC, et al. Effects of silane- and MDP-based primers application orders on zirconia-resin adhesion—A ToF-SIMS study. *Dent Mater* 2017;33:923-33.
42. Campos F, Almeida CS, Rippe MP, De Melo RM, Valandro LF, Bottino MA. Resin bonding to a hybrid ceramic: Effects of surface treatments and aging. *Oper Dent* 2016;41:171-8.
43. Awad MM, Albedaiwi L, Almahdy A, et al. Effect of universal adhesives on microtensile bond strength to hybrid ceramic. *BMC Oral Health* 2019;19:1-7.
44. Bello YD, Di Domenico MB, Magro LD, Lise MW, Corazza PH. Bond strength between composite repair and polymer-infiltrated ceramic-network material: Effect of different surface treatments. *J Esthet Restor Dent* 2019;31:275-9.
45. El-Damanhoury HM, Gaintantzopoulou MD. Self-etching ceramic primer versus hydrofluoric acid etching: Etching efficacy and bonding performance. *J Prosthodont Res* 2018;62:75-83.

46. Murillo-Gómez F, Palma-Dibb RG, De Goes MF. Effect of acid etching on tridimensional microstructure of etchable CAD/CAM materials. *Dent Mater* 2018;34:944–55.
47. Colombo L do A, Murillo-Gómez F, De Goes MF. Bond Strength of CAD/CAM Restorative Materials Treated with Different Surface Etching Protocols. *J Adhes Dent* 2019;21:307–17.
48. Silva PNF da, Martinelli-Lobo CM, Bottino MA, Melo RM de, Valandro LF. Bond strength between a polymer-infiltrated ceramic network and a composite for repair: effect of several ceramic surface treatments. *Braz Oral Res* 2018;32:e28.
49. Özcan M, Volpato CAM. Surface Conditioning and Bonding Protocol for Polymer-infiltrated Ceramic : How and Why? *J Adhes Dent* 2016; 18:174–5.
50. González-Serrano C, Jin-Ho P, Fuentes MV, et al. Effect of a single-component ceramic conditioner on shear bond strength of precoated brackets to different CAD/CAM materials. *Clin Oral Investig* 2020; doi: 10.1007/s00784-020-03504-0.