



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Facultat d'Odontologia
Universitat de Barcelona
Departament d'Odontoestomatologia

TESIS DOCTORAL

**Estudio comparativo entre
las fuerzas de adhesión
obtenidas sobre dentina
preparada con instrumental
rotatorio y láser de
Er,Cr:YSGG**

Antonio Jesús España Tost

Codirectores: Prof. Dr. Leonardo Berini Aytés
Prof. Dr. Enric Espasa Suárez de Deza

7.- DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos en este estudio, a nuestro entender, son de una importante relevancia clínica: el profesional, que utiliza este tipo de láser en los procedimientos de Odontología adhesiva, no es consciente de hasta que punto la densidad de potencia empleada puede determinar el resultado de la adhesión. Evidentemente desde la perspectiva clínica no se aprecian diferencias a corto plazo por el hecho de utilizar diferentes densidades de potencia, y por ello con la finalidad de invertir menos tiempo en la preparación de una cavidad, la tendencia es la de utilizar mayores densidades de energía por pulso, ya que así se consigue mayor volumen de ablación en cada uno de ellos.

Durante la elaboración de este trabajo son muchos los aspectos que se han tratado en relación al uso del láser de Er,Cr:YSGG y el sistema de adhesión a dentina y a través del hilo argumental que hemos expuesto, basados en la bibliografía consultada, hemos diseñado un experimento “in vitro” que nos ha aportado, a nuestro entender, unos resultados que hasta cierto punto ayudan a comprender los parámetros en los que debería basarse un clínico que utilice dicho láser en su trabajo cotidiano.

Los detractores del uso del láser se amparan en algunos “malos” resultados publicados por algunos investigadores para desaconsejar su uso, pero creemos que dichos resultados pueden mejorarse adecuando no sólo los parámetros de emisión sino seleccionando un sistema adhesivo más conveniente.

Los parámetros propios de la emisión del láser serán ampliamente discutidos en este apartado, ya que entendemos que son de gran relevancia, pero también estamos

convencidos de que no solamente dichos parámetros influyen sobre el resultado de la adhesión en dentina sino que la elección de un sistema adhesivo y la forma en que se utilice, puede determinar la fuerza de adhesión.

En la actualidad los sistemas adhesivos comercializados están diseñados para el clínico que utiliza el instrumental rotatorio convencional, y en nuestra opinión debería existir algún sistema adhesivo pensado para aquellos profesionales que trabajen con láseres de Er,Cr:YSGG o Er:YAG, ya que a pesar de la aparente gran similitud entre la dentina irradiada y la dentina fresada -cuando a esta última se le ha aplicado el ácido ortofosfórico-, existen diferencias que pueden propiciar que ciertos sistemas adhesivos se comporten mejor o peor que otros.

Así pues, este trabajo ha sido diseñado en base a esclarecer hasta que punto un sistema adhesivo estratégicamente seleccionado, puede apoyar la hipótesis de que la densidad de energía por pulso utilizada puede influir en los valores de la fuerza de adhesión.

También es cierto que la evaluación de la resistencia a las fuerzas de cizalla no tiene una aplicación directa en la práctica profesional, ya que se simula una situación que no posee traducción clínica. El profesional suele crear retenciones para estabilizar mejor el material de obturación, y ello no requiere altos valores de adhesión.

Por todo ello, y amparándonos en los resultados obtenidos en nuestro estudio, abordaremos la discusión con la intención de obtener las pertinentes conclusiones de este trabajo.

7.1.- Dentina irradiada.

Anteriormente, en el apartado 4.10. referente a los estudios preliminares, hemos mostrado imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido (Figuras 17-27, páginas 161 a la 166) donde podíamos apreciar el aspecto que ofrece la dentina tras ser irradiada. Sin más consideraciones que las ya mencionadas y al igual que la opinión de otros autores^{6, 12, 13, 146, 184} la dentina irradiada ofrece un aspecto muy similar al de la dentina grabada después de utilizar el instrumental rotatorio convencional. Cabe destacar que casi nadie menciona una posible debilitación de la capa más superficial de la dentina irradiada, punto sobre el que haremos alguna reflexión en la interpretación de los resultados.

En cualquier caso, el aspecto postirradiación de la dentina ofrece características favorables a la utilización de sistemas adhesivos, tal como sugieren algunos investigadores^{148, 150, 188, 189} por su gran similitud a la dentina grabada.

A pesar de esta gran similitud, la primera incógnita que se nos plantea es en relación a las diferencias. La acción del ácido ortofosfórico sobre la dentina, además de eliminar el barrillo dentinario, produce la disolución de algunos minerales presentes, como los cristales de hidroxiapatita^{161, 190-192}. Este efecto es de gran importancia según el sistema adhesivo que se vaya a utilizar; algunos sistemas requieren el grabado para la posterior difusión del monómero, mientras que otros principios químicos van a aprovechar la hidroxiapatita para establecer enlaces químicos.

La dentina fresada, cuando es examinada muestra la presencia de barrillo dentinario¹²⁴, el cual, tal como hemos mencionado en la descripción de la dentina, no desaparece tras el lavado con un chorro de agua. Los detritus producidos por la acción del fresado quedan retenidos por las propias fibras de colágeno parcialmente arrancadas de la dentina durante la acción mecánica de la fresa¹²⁵. Cuando se aplica el ácido ortofosfórico el barrillo se disuelve, y la dentina peritubular e intertubular se desmineraliza, exponiendo una malla de fibras de colágeno adheridas a la dentina remanente. Estas fibras son de crucial importancia para establecer la capa híbrida que describieran Nakabayashi y cols.^{111, 136} y Van Meerbeek y cols.¹²⁹. Cuando en lugar de fresar la dentina producimos su eliminación por el efecto ablativo del láser, los detritus no quedan retenidos en la superficie, ya que incluso las mismas fibras de colágeno también sufren el proceso de ablación. No obstante la dentina está formada principalmente por colágeno, y sus fibras pueden ser evidenciadas por microscopía electrónica de barrido tras su irradiación, pero no queda matriz desmineralizada en la que se evidencie la malla de colágeno, tal como ocurre tras el grabado ácido.

Cuando se evalúa el complejo de unión, entre resina y dentina, se aprecian grandes diferencias entre la dentina preparada de uno u otro modo, encontrando en la literatura descripciones tales como ausencia de capa híbrida^{153, 193} o incluso afirmaciones sobre que el uso del láser impide la formación de dicha capa¹⁵⁴.

La posible interpretación de estos hallazgos parece simple; se trata de dos vías completamente opuestas de eliminación de dentina, que producen efectos físicos distintos, y que por lo tanto, creemos, deben ser interpretadas de forma diferente. De la misma forma que la dentina irradiada y la dentina fresada sin aplicar el ácido

ortofosfórico no tienen similitudes, los complejos de unión que pueden formar tampoco tienen que ser parecidos. Simplemente son diferentes, y son distintas porque la dentina remanente es diferente en cuanto a la presencia de fibras de colágeno parcialmente expuestas se refiere.

Cuando examinamos la dentina fresada y grabada, con microscopía electrónica de barrido, el aspecto sin el “smear layer” y sin los “smear plugs”, es muy similar al aspecto que ofrece la dentina irradiada^{6, 12, 13, 146, 184}, pero hay que recordar que para poder observar los especímenes, previamente, éstos deben ser desecados. Ello favorece que las fibras de colágeno se colapsen contra la superficie de la dentina, y por lo tanto que su aspecto sea muy similar. En el supuesto de que fueran iguales todo iría a favor de utilizar sistemas adhesivos basados en el grabado total, eliminando el ácido ortofosfórico en la lista de pasos que se debe seguir sobre la dentina irradiada. Esto no sucede así ya que muchos de los investigadores que han estudiado estos aspectos parecen desaconsejar el uso del láser, o aconsejar la utilización del ácido ortofosfórico tras la irradiación.

Independientemente del aspecto que pueda ofrecer la dentina irradiada, y a tenor de todo lo expuesto, tanto en la introducción como en las consideraciones previas a la elaboración de la hipótesis de trabajo, creemos, y así lo interpretamos por los resultados obtenidos, que la cantidad de energía liberada en cada pulso y la superficie donde se aplica, es decir la densidad de energía por pulso, es un parámetro importantísimo para la obtención de un buen complejo de unión entre la dentina irradiada y el material de obturación.

Por lo tanto, tras la actualización bibliográfica sobre el tema, son varios los enigmas que se plantean: ¿Qué sistema adhesivo podemos utilizar? ¿Cómo influye la “fluence” sobre la adhesión? ¿Tenemos que grabar la dentina irradiada?, cuestiones que vamos a tratar a continuación.

7.2.- Sistema adhesivo.

El sistema adhesivo utilizado en este experimento no ha sido seleccionado al azar, y muy probablemente tampoco sea el más adecuado para utilizar en dientes irradiados.

Ya hemos visto en la descripción de los sistemas adhesivos que existen diferentes componentes en cada uno de ellos, y que los fabricantes no comercializan productos con un único componente. La tendencia es combinar principios que actúen por diferentes vías, para así poder conseguir una buena adhesión. Actualmente, y debido a que el éxito de los sistemas adhesivos es muy sensible a la técnica que pueda utilizar cada profesional -utilización de dique de goma y aislamiento conseguido, nivel de humedad en la zona de trabajo, y grado de humedad del aire expulsado por la jeringa del equipo, ya que existen compresores sin secador, compresores que utilizan aceite-, se procura diseñar los sistemas adhesivos en un único paso, a diferencia de los más antiguos en los que llegaban a ser necesarios hasta cinco pasos.

La existencia de mayor presencia de hidroxiapatita en la dentina irradiada que en la dentina fresada y grabada^{161, 190-192}, nos decidió a utilizar un sistema adhesivo que entre sus componentes incorporara alguna sustancia capaz de establecer una unión química con la hidroxiapatita. Los componentes 4-META interaccionan con la hidroxiapatita logrando una quelación del ión Ca presente en su molécula, es decir estableciendo una unión química^{136, 194, 195}.

En el mercado existen algunos sistemas adhesivos que contienen 4-META, pero la mayoría de ellos no requieren grabado ácido previo. Se trata de los sistemas autograbantes SE (Self Etching). El mecanismo de acción de dichos preparados autograbantes se produce en la capa de “smear layer”, produciendo una modificación del barrillo dentinario por la presencia de un ácido débil presente en su composición, que permite la difusión del monómero, lo que crea un complejo de unión entre la resina, el barrillo dentinario modificado, las fibras de colágeno presentes, los “smear plugs” y la dentina intertubular, peritubular e intratubular^{117, 136, 194, 195}.

Dado que el mecanismo de acción de los sistemas adhesivos autograbantes basados en 4-META requieren la presencia de barrillo dentinario, se optó por seleccionar un sistema adhesivo que incorporara 4-META pero que requiriera grabado previo. Oliveira y cols. argumentan que para la adhesión con sistemas SE es necesaria la presencia de “smear layer”¹⁶⁵.

Evidentemente, teniendo en cuenta la acción de los 4-META, parece un contrasentido desmineralizar previamente la dentina, ya que se pierde parte de la hidroxiapatita presente en el substrato. Por ello el fabricante recomienda utilizar el ácido ortofosfórico durante poco tiempo, en comparación con otros sistemas, y a una concentración sensiblemente más baja (20%) que la de otros sistemas. En cualquier caso el material que se seleccionó también contenía otros principios activos para mejorar la adhesión.

Con la aplicación de los 4-META pretendíamos demostrar que la adhesión sobre la dentina irradiada a baja “fluence” podía ser igual o mejor que utilizando el

instrumental rotatorio, y valorando los resultados obtenidos, a pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas, podemos ver que el grupo en el que se acondicionó la dentina con baja densidad de energía por pulso (Grupo 4) sin la utilización de ácido ortofosfórico mostró unos resultados parecidos al grupo en el que no se utilizó láser, se grabó y se aplicó el sistema adhesivo (Grupo 1).

Curiosamente el otro grupo en el que tampoco se utilizó ácido ortofosfórico pero se utilizó el láser a mayor densidad de energía por pulso (Grupo 5), resultó ser el que ofreció los peores resultados en el experimento. Si la única diferencia en la preparación de las muestras entre el Grupo 4 y el 5 fue la densidad de energía por pulso utilizada, parece obvio afirmar que la “fluence” tiene un papel trascendental en la fuerza de adhesión, cuando se utiliza este sistema adhesivo. Por ello la consecuencia lógica es pensar que la dentina irradiada a mayor densidad de energía por pulso se adhiere menos que la irradiada a menor “fluence”. El porqué de este resultado podría explicarse por una posible disminución de la resistencia de la propia dentina como consecuencia de las múltiples microexplosiones que acompañan al proceso ablativo.

7.3.- Densidad de energía por pulso.

Los resultados del test de resistencia a la fuerza de cizalla, son similares a los que presentan otros investigadores, si bien hay que interpretar con mucha prudencia los parámetros correspondientes a la irradiación del láser.

En nuestro estudio, como ya hemos dicho con anterioridad, los resultados tienen mucho que ver con la densidad de energía por pulso. Este parámetro no se suele contemplar con el énfasis necesario en la mayoría de los trabajos de los autores consultados y por ello haremos una revisión crítica de dichos artículos, intentando esclarecer esta importante parte de la metodología aplicada.

En primer lugar citaremos un trabajo presentado por Corona y cols. en el cual dan importancia a la densidad de potencia por pulso¹⁹⁶. Coinciden con nuestro criterio al señalar que se obtienen mejores resultados con densidades de potencia inferiores. Antes de hacer la valoración del artículo creemos que es necesario hacer una aclaración: el título del artículo es “Composite resin’s adhesive resistance to dentin: Influence of Er:YAG laser focal distance variation”. A pesar que tanto los autores como los que han arbitrado el original previamente a su publicación han entendido lo mismo, el título esconde un error de concepto. La distancia focal de un elemento óptico es siempre la misma, con lo cual es invariable. Lo que sí se puede modificar, y esto es lo que han querido expresar los autores y ha entendido el corrector, es que lo que se varía es la distancia de irradiación. El trabajo concluye que aumentando la distancia de aplicación del láser se obtienen mejores resultados en términos de resistencia, si bien utiliza grabado ácido (ortofosfórico al 35%) en todas las muestras. En la discusión no se acierta

a interpretar el porqué de sus resultados, y las conclusiones no van más allá de relatar los mismos. Es un trabajo que no tiene otro interés que el de poder comentar estos criterios de concepto, dado que está publicado en una revista con factor de impacto dedicada exclusivamente al láser. Por ello no es de extrañar que podamos encontrar muchas más imprecisiones en revistas que no están relacionadas con el mundo de los láseres. A menudo nos encontramos con excelentes trabajos en los cuales se ha cuidado la metodología con máximo rigor, pero son menos estrictos en lo que concierne a los parámetros propios de la utilización del láser.

La importancia de la densidad de energía por pulso queda diluida en muchos de los trabajos consultados. La mayoría de autores aprecian algunas diferencias en los resultados, pero generalmente no aciertan a otorgarle el valor que creemos que se merece.

En el apartado 4.9.2 (página 136) hemos criticado un estudio de Ceballos y cols. en el que no dan los valores de densidad de energía por pulso, pero dicen que el diámetro del spot era de 1mm^{159} . Bien hasta aquí podríamos calcular la “fluence” ya que refieren que trabajaron a 180 mJ de energía por pulso, pero resulta que después especifican que trabajaron a 20 mm de distancia. Ya hemos comentado que habíamos tenido la oportunidad de utilizar el mismo sistema láser con la misma pieza de mano, y que calculamos el diámetro del spot en función de la distancia, con lo cual puede deducirse que se aplicó una “fluence” tan baja que incluso es posible que no hubiera eliminado el “smear layer” completamente. Tampoco se menciona el tiempo total de irradiación; simplemente se informa que se trabajó a 2 disparos por segundo.

Evidentemente sus resultados y conclusiones, pudiendo no ser erróneas, no son fiables a

causa del error metodológico expuesto. Pese a ello el artículo apareció en una importante publicación que no tiene tradición en estudios en los que se utiliza el láser, y seguramente quienes arbitraron el manuscrito original tampoco le supieron dar la importancia que se le debería dar.

Giachetti y cols. en su estudio piloto sobre las consecuencias resultantes del uso del láser en los mecanismos de adhesión¹⁸⁴, en la metodología no explican absolutamente nada referente a la densidad de energía por pulso. No obstante hemos podido calcular dicho parámetro a partir de los datos que aparecen como pie de figura en una de las fotografías de microscopía electrónica de barrido. Así se ha podido medir y calcular el diámetro del impacto, y con el dato de la energía, que reza en dicho pie, hacer los pertinentes cálculos de la densidad de energía por pulso empleada. Las “fluences” utilizadas -tal como se han calculado- resultaron ser elevadas 64,16 J/cm² y 128,32 J/cm², en relación a las usadas en nuestro estudio (13,5 y 36 J/cm²). Estudiaron la morfología de la interfase de unión con ayuda de microscopía electrónica de barrido, y finalmente aconsejan utilizar 200mJ por pulso (64,16 J/cm²) en lugar de los 400 mJ (128,32 J/cm²) y aplicar el ácido ortofosfórico.

Los resultados de nuestro estudio coincidirían, a pesar de las diferencias en la concepción del estudio, en las conclusiones que aporta el trabajo de Giachetti y cols.¹⁸⁴ En su estudio presentan algunas microfracturas en la superficie de la dentina irradiada, pero no creemos que permitan asegurar que sean a causa de las microexplosiones, ya que tal vez sean producto de la extrema desecación a que se someten los especímenes antes de ser colocados en el interior del microscopio electrónico de barrido.

Existe otro parámetro relativo a la irradiación, con menor importancia que la densidad de energía por pulso, que tampoco suele ser valorado en los estudios consultados. Se trata del caudal del spray de aire y agua. No haremos demasiados comentarios sobre este punto, pero teniendo en cuenta que tanto el láser de Er:YAG como el láser de Er,Cr:YSGG son altamente absorbidos por el agua, y que la presencia de la misma en la superficie irradiada puede favorecer el efecto ablativo de ambos láseres^{7, 13, 26, 75-77, 144, 197}, cabría esperar que, por lo menos, se indicara si se ha utilizado, cosa que no siempre se comenta en la metodología.

Recordar nuevamente que los datos relativos a los parámetros de emisión son importantes parece exagerado a estas alturas, pero simplemente deberíamos insistir en que hemos detectado trabajos en los cuales se copian los errores en la descripción; por ejemplo Ramos y cols.¹⁹⁸, De Souza y cols.¹⁹⁹, y otros autores del mismo equipo, en la descripción de la metodología siempre utilizan la misma pieza de mano, cuyo modelo - nosotros también hemos trabajado con el mismo sistema y el mismo modelo de pieza de mano- no permite la colocación de “tips” y el haz de láser es liberado a través de una ventana de emisión. Pero ellos siempre especifican que dicho modelo posee “tips” intercambiables y que trabajan a 17mm con un spot de 0,63mm de diámetro. Si calculamos la “fluence”, ya que no nos la proporcionan, a partir del diámetro del spot y la energía por pulso, va a dar valores que a buen seguro distan mucho de los valores realmente utilizados, con lo cual quizás es mejor interpretar que utilizaron dicha pieza de mano a 17 mm de distancia desde la ventana de emisión, y a partir de aquí se podría calcular el diámetro del spot y la “fluence”.

En cualquier caso, y debido a que nosotros sí le damos un gran valor a la densidad de energía por pulso, todos estos trabajos que presentan estos errores de concepto en la descripción de los parámetros de irradiación, deben interpretarse con mucha precaución ya que las conclusiones pueden ser erróneas.

Recuperando y recalculando los valores de “fluence” utilizada en los estudios efectuados por los autores anteriormente citados, hemos elaborado una tabla resumen (Tabla 26), en la que podemos ver los diferentes autores que han sido referenciados en el capítulo de actualización bibliográfica, indicando el láser utilizado, la energía por pulso, el diámetro del spot, la “fluence” y la valoración que hacen sobre la utilización del láser en su estudio.

Primer autor y año	Láser	Energía por pulso (mJ)	Diám.Spot (mm)	Fluence	Valoración
Bertrand MF 2004	Er:YAG	500	1,2	44,21 J/cm ²	Mala
Burnett LH 2001	Er:YAG	450	0,63	144,44 J/cm ²	Buena
Ceballos L 2001	Er:YAG	250	0,7 (?)	64,96 J/cm ²	Buena
Ceballos L 2002	Er:YAG	180	aprox. 1-2 (?)	6 -23 J/cm ²	Mala
Corona S 2005	Er:YAG	80	0,8-1,2 (?)	7-16 J/cm ²	Regular
De Munck J 2002	Er:YAG	80	0,8 (?)	15,91 J/cm ²	Mala
De Souza AE 2004	Er:YAG	80	0,63 (?)	25,66 J/cm ²	Excelente
Donadio-Moura J 2005	Er:YAG	100	0,63	37,04 J/cm ²	Buena
Donadio-Moura J 2005	Er:YAG	250	0,63	92,60 J/cm ²	Buena
Dunn WJ 2005	Er:YAG	140	0,6	49,51 J/cm ²	Mala
Dunn WJ 2005	Er:YAG	35	0,6	12,38 J/cm ²	Mala
Giachetti L 2004	Er:YAG	200	0,63 (?)	64,16 J/cm ²	Regular
Giachetti L 2004	Er:YAG	400	0,63 (?)	128,32 J/cm ²	Regular
Gonçalves M 2002	Er:YAG	140	0,6	49,51 J/cm ²	Excelente
González Bahillo J 2002	Er:YAG	300	0,7	77,95 J/cm ²	Excelente
Gutknecht N 2001	Er,Cr:YSGG	150	0,8	29,84 J/cm ²	Buena
Hossain M 2001	Er,Cr:YSGG	250	0,75	56,6 J/cm ²	Buena
Hossain M 2001	Er,Cr:YSGG	300	0,75	67,9 J/cm ²	Buena
Kameyama A 2002	Er:YAG	100	0,6	35,37 J/cm ²	Mala
Lin S 1999	Er,Cr:YSGG	200	0,77	43,5 J/cm ²	Excelente
Manhaes L 2005	Er:YAG	250	0,63	80,3 J/cm ²	Regular
Niu W 1998	Er:YAG	200	0,7	51,97 J/cm ²	Buena
Oliveira D 2005	Er:YAG	250	0,62 (?)	83 J/cm ²	Buena
Palma Dibb RG 2002	Er:YAG	500	1	63,66 J/cm ²	Buena
Palma Dibb RG 2002	Er:YAG	120	1	15,28 J/cm ²	Buena
Ramos R 2002	Er:YAG	80	0,63 (?)	25,66 J/cm ²	Regular
Sassi JF 2004	Er:YAG	80	0,71 (?)	20,24 J/cm ²	Mala
Schein MT 2003	Er:YAG	250	0,7 (?)	64,96 J/cm ²	Mala
Visuri SR 1996	Er:YAG	350	1	44,56 J/cm ²	Excelente

Tabla 26. Resumen de Fluences utilizadas por diferentes autores, y la valoración que hacen de la acción del láser en sus trabajos. Con ? aquellas que no están bien descritas en la metodología.

Analizando las densidades de potencia por pulso utilizadas y observando la valoración que los autores hacen del láser, no se puede vislumbrar una relación directa entre las densidades de energía por pulso y su repercusión en los resultados, probablemente por algún error en el cálculo real de la “fluence” aplicada.

Al igual que hemos elaborado una tabla resumen para los datos referentes a los parámetros del láser, también hemos elaborado otra con los datos referentes a los sistemas adhesivos (Tabla 27).

Primer autor y año	Sist. Adhesivo	Fuerza de resistencia	Composite	Grabado	Valoración
Bertrand MF 2004	Prime and Bond NT	No	Spectrum TPH	Si	Buena
Bertrand MF 2004	Prime and Bond NT	No	Spectrum TPH	No	Mala
Burnett LH 2001	Single Bond	Si	Z-100	Si	Buena
Ceballos L 2001	Scotchbond I	No	Z-100	Si/No	Buena
Ceballos L 2002	Single Bond	Si	Z-100	Si	Mala
Ceballos L 2002	Single Bond	Si	Z-100	No	Mala
Corona S 2005	Single Bond	Si	Z-250	Si	Regular
De Munck J 2002	Clearfil SE	Si	Z-100	No	Mala
De Munck J 2002	OptiBond FL	Si	Z-100	Si/No	Mala
De Souza AE 2004	Prime and Bond NT	Si	Dyract Flow	NRC	Excelente
Donadio-Moura J 2005	Excite	Si	Tetric Flow	Si	Excelente
Donadio-Moura J 2005	Excite	Si	Tetric Ceram	Si	Regular
Dunn WJ 2005	Scotchbond Multi-Purpose	Si	Z-250	Si	Mala
Dunn WJ 2005	Scotchbond Multi-Purpose	Si	Z-250	No	Mala
Giachetti L 2004	Scotchbond I	No	Tetric Flow	Si/No	Regular
Gonçalves M 2002	Bond I (Jeneric)	Si	Alert	Si	Excelente
Gonçalves M 2002	Optibond Solo	Si	Prodigy	Si	Regular
Gonçalves M 2002	Single Bond	Si	Z-100	Si	Regular
González Bahillo J 2002	Scotchbond Multiadhesion Plus	No	Z-100	Si	Excelente
Gutknecht N 2001	Optibond	No	Prodigy	Si/No	Buena
Kameyama A 2002	Super Bond	Si	N/E	Si	Mala
Lin S 1999	XR Primer&Bond	Si	Herculite XRV	Si	Buena
Lin S 1999	XR Primer&Bond	Si	Herculite XRV	No	Buena
Manhaes L 2005	Clearfil SE Bond	Si	Z-250	No	Regular
Niu W 1998	Clearfil Photo Bond	No	Silux	Si/No	Buena
Oliveira S 2005	Single Bond	Si	Z-250	Si	Buena
Palma Dibb RG 2002	Prime & Bond NT	No	Z-250	Si	Excelente
Palma Dibb RG 2002	Jeneric	No	Z-250	Si	Regular
Palma Dibb RG 2002	Etch & Prime 3.0 (SE)	No	Z-250	No	Regular
Ramos R, 2002	Clearfil Liner Bond (SE)	Si	Z-250	No	Regular
Ramos R, 2002	Excite	Si	Z-250	Si/No	Regular
Ramos R, 2002	Gluma One Bond	Si	Z-250	Si/No	Aceptable
Sassi JF 2004	All Bond	No	Flow It!	Si	Mala
Sassi JF 2004	Optibond Solo Plus	No	Flow It!	Si	Mala
Sassi JF 2004	Clearfil Liner Bond	No	Flow It!	Si	Mala
Schein MT 2003	Single Bond	No	Z-100	Si	Mala
Schein MT 2003	Single Bond	No	Z-100	No	Mala
Visuri SR 1996	ProBond	Si	ProBond TPH	Si	Buena
Visuri SR 1996	ProBond	Si	ProBond TPH	No	Excelente

Tabla 27. Resumen de los sistemas adhesivos y composites utilizados conjuntamente con el tipo de láser, por diferentes autores y cómo el autor valora la acción del láser en su estudio.

En la tabla 27 podemos ver el resumen de los sistemas adhesivos utilizados por autores, si efectuaron algún tipo de medición de fuerzas de resistencia, el tipo de material de obturación utilizado, así como si el autor utilizó grabado ácido después de

irradiar con láser. También se incluye la valoración que el autor hace sobre la utilización del láser en su experimento.

En nuestra opinión, al comparar los resultados que hemos obtenido en nuestro estudio con los expuestos en los artículos publicados, y teniendo en cuenta que la “fluence” está, por regla general, mal calculada, vemos un cierto paralelismo que refuerza nuestra hipótesis inicial; las densidades de energía por pulso más elevadas, cuando no se aplica el ácido ortofosfórico antes del sistema adhesivo -como en el Grupo 5 de nuestro estudio- suelen dar los peores resultados en términos de fuerza de adhesión, mientras que si se prepara la dentina con la misma “fluence” pero con ácido ortofosfórico -como en el Grupo 3 de nuestro trabajo- los resultados son mejores.

Los valores en MPa obtenidos en el Grupo 1 de nuestro experimento, coinciden con los que el fabricante especifica para su producto, si bien tampoco pueden ser estrictamente comparados con los publicados y la comparación debe hacerse con ciertas reservas. Los valores de fuerza de adhesión pueden ser distintos según el método empleado para su medición. Así, por ejemplo, simplemente aumentando la velocidad de la cruceta de la Instron podemos encontrar peores resultados. En nuestro experimento se utilizó la velocidad de 1mm por minuto, ya que no existía la posibilidad de utilizar la misma máquina a medio milímetro por minuto, que hubiera sido más deseable. Los resultados también son distintos si se evalúan las fuerzas de cizalla o de arrancamiento. En las pruebas de “microtensile bond strength” no se utilizan cilindros de resina de 3mm de diámetro, sino cuadrados de 1x1mm, y los valores en MPa que se obtienen son mayores. Por todo ello preferimos estudiar las tendencias en los resultados obtenidos por cada uno de los autores, que comparar directamente los valores obtenidos en MPa.

El Grupo 4 de nuestro estudio, en el que se utilizó irradiación con láser de Er,Cr:YSGG a baja “fluence” sin grabado ácido y se aplicó el sistema adhesivo, fue el que obtuvo mejores resultados, si bien éstos no mostraron diferencias significativas con los obtenidos en el Grupo 1, en el que no se utilizó láser. También fueron mejores que los obtenidos en el Grupo 2, donde se utilizó baja “fluence” y grabado ácido antes de aplicar el sistema adhesivo, pero tampoco la diferencia fue estadísticamente significativa. Pero fue claramente mejor que los obtenidos al utilizar alta “fluence”, con o sin grabado ácido, Grupos 3 y 5 correspondientemente, siendo estadísticamente significativo mejor que ambos.

Antes hemos comentado que el Grupo 4 fue el que obtuvo mejores resultados, si bien el análisis estadístico sólo mostró una diferencia estadísticamente significativa con los Grupos 3 y 5. La única diferencia entre el Grupo 4 y el Grupo 2 fue el acondicionamiento de la dentina con ácido ortofosfórico, y a pesar de que no exista significancia en los resultados, si se constataba una tendencia a que los resultados del Grupo 4 fueran mejores que los del Grupo 3. Teniendo en cuenta que la densidad de energía por pulso fue la misma, en este caso creemos que la diferencia se produjo por la acción del sistema adhesivo, ya que éste encontró mayor cantidad de hidroxiapatita en el grupo en el que no se practicó grabado ácido.

7.4.- Patrón de fractura.

En relación con el estudio del patrón de fractura quisiéramos hacer ciertas aclaraciones; se trata de un método poco objetivo de valorar un grupo de muestras. Revisando la literatura, los diferentes autores^{80, 156-159, 183, 198, 200} se limitan a expresar el tipo de patrón que ven en cada muestra clasificándolos en fallo adhesivo, fallo cohesivo de dentina y fallo cohesivo de resina. Si coexisten dos o más tipos de fallos en una misma muestra, la denominan como patrón mixto. No todos los autores utilizan la misma clasificación. Atendiendo a estos criterios, prácticamente no podríamos hablar de diferencias en nuestros resultados, ya que la mayoría de ellas presentaban un patrón mixto.

Ya se ha comentado en el apartado dedicado a la metodología que Manhaes y cols.¹⁸⁵, recurren a un programa informático para el cálculo de las superficies que corresponden a cada tipo de fallo. A partir de aquí desarrollamos nuestro propio método y los resultados expuestos son fieles a las mediciones efectuadas. En cualquier caso la prueba puede no ser del todo fiable ya que los colores que conforman cada patrón de fractura son demasiado próximos entre sí. Hicimos comparaciones entre el método descrito por Manhaes y cols. y el nuestro, y pareció más fiable el utilizado en este trabajo.

En cualquier caso, el análisis del patrón de fractura de las muestras, en nuestro estudio simplemente tenía el interés de constatar mayor presencia de fallo cohesivo en dentina en los grupos en los que se utilizó el láser que en el grupo en que no se utilizó, y este parámetro, creemos, que queda sobradamente demostrado, no sólo por los

resultados analíticos digitales, si no por la simple observación a microscopía óptica de los bloques de resina.

En nuestra opinión se podría incorporar un nuevo vocablo para describir a la dentina irradiada con láser. Al igual que la dentina fresada presenta una película de detritus que se conoce con el nombre de barrillo dentinario o “smear layer”, a la dentina más superficial de la zona irradiada se le podría llamar de alguna forma, como por ejemplo “polvo dentinario” o “polvo de dentina laseada”, ya que la resina se adhiere a la dentina, pero ésta no está bien integrada al sustrato y aparece adherida en la superficie de los bloques de resina.

El Grupo que presentó menor porcentaje de fallo cohesivo de dentina fue el único que no sufrió la acción del láser. Los grupos en que se utilizó el láser y el ácido ortofosfórico mostraron menor porcentaje de fallo cohesivo en dentina que los que no fueron grabados. Esto no se correspondería directamente con los resultados obtenidos en las fuerzas de adhesión, pero sí con la presencia de una superficie dentinaria débil en mayor o menor grado, que desaparece parcialmente cuando se somete a grabado ácido. La resistencia de la dentina irradiada parece ser mejor, según los resultados de fuerzas de adhesión, cuando se utiliza la menor de las dos “fluences” estudiadas; sin embargo no existen demasiadas diferencias en relación al patrón de fractura que muestran.

Nuestros resultados en relación con el patrón de fractura coinciden relativamente con los presentados por otros autores, si bien hay que matizar que no siempre podemos comparar “fluences” y sistemas adhesivos distintos vista la posible repercusión que tiene en los resultados.

La presencia de pequeñas cantidades de dentina en los bloques de resina ha sido descrita por diferentes autores^{80, 183, 184}, pero la medición del porcentaje de la superficie que corresponde a este hallazgo, cuando la dentina ha sido tratada con láser de Er:YAG o de Er,Cr:YSGG, sólo se ha encontrado en el trabajo que presentan Manhaes y cols.¹⁸⁵

7.5.- “Fluence” y Sistema Adhesivo.

Del análisis estadístico de nuestros resultados parece claro que la densidad de energía por pulso debe ser baja si queremos obtener buenos resultados, pero también es cierto que no todos los sistemas adhesivos son capaces de ofrecer la misma fuerza de adhesión.

Nuestro experimento se ha efectuado utilizando un único sistema adhesivo, pero es muy probable que al utilizar otros sistemas adhesivos, la densidad de energía por pulso no sea tan determinante como ha resultado ser en nuestro trabajo.

En este sentido Oliveira y cols. en su trabajo²⁰⁰, en el cual utilizaron siempre grabado con ácido ortofosfórico, concluyen que la preparación de la dentina con láser de Er:YAG no tiene influencia sobre el sistema adhesivo.

Nos llamó poderosamente la atención el trabajo de Visuri y cols.¹⁵⁵ ya que sus resultados difieren del resto de artículos consultados. Obtienen los mejores resultados a 44,56 J/cm² sin ácido ortofosfórico, y sus resultados son mejores, con significancia estadística, cuando utilizaron el grabado ácido o prepararon la dentina con instrumental rotatorio. El sistema adhesivo que emplearon no difiere mucho del utilizado por otros autores, en cuanto a composición se refiere, pero la forma de irradiación es diferente. Utilizaron una lente bicóncava que modificaba la forma transversal de avance de la onda de TEM₀₀ a TEM₁₀. Probablemente este cambio permita una distribución de fotones más homogénea y la ablación resulte menos lesiva para el tejido remanente.

También Gonçalves y cols.¹⁵⁶ utilizando 49,51 J/cm² y el sistema adhesivo Bond1 obtuvieron mejores resultados, con significancia estadística, frente a otros sistemas adhesivos.

A pesar que, a priori, descartáramos la posibilidad de emplear los sistemas autograbantes, quizás por su mecanismo de acción puedan ofrecer mejores resultados que los basados en el grabado total, sobre dentina irradiada, tal como sucede en algunos trabajos publicados como los de De Souza y cols.¹⁹⁹ o Donadio-Moura y cols.¹⁵⁷.

Los sistemas adhesivos basados en el grabado total han sido los más utilizados por la comunidad científica en temas de adhesión y láser, y la aplicación del grabado ácido posterior a la irradiación sigue siendo un tema de continuo debate.

De los resultados de nuestro estudio se desprende que es preferible grabar cuando se han utilizado densidades de energía por pulso más elevadas, pero que es mejor no grabar con ácido ortofosfórico cuando se han aplicado “fluences” más bajas, siempre que se aplique un sistema adhesivo con 4-META. Giachetti y cols.¹⁸⁴ consideran que el láser de Er:YAG es una alternativa al grabado ácido, lo cual discrepa parcialmente de nuestro criterio si tenemos en cuenta la “fluence” usada en su estudio.

Schein y cols.¹⁵² encuentran que la superficie irradiada con láser de Er:YAG no es favorable para la difusión del monómero y que no se forma la hibridación y los “tags” parecen más débiles. Ya hemos comentado anteriormente que la interpretación del complejo de unión cuando se ha utilizado el láser no tiene porque ser igual. En nuestra opinión el hecho que morfológicamente se observen interfases diferentes es

irrelevante para la evaluación indirecta de la adhesión, si los tests de resistencia muestran valores eficientes.

Coincidimos en la opinión de Ramos y cols.¹⁹⁸ en el sentido que la acción del láser puede afectar o no la adhesión en función del sistema adhesivo utilizado.

Desde el punto de vista clínico pueden resultar más fiables los estudios de microfiltración que los estudios de fuerzas de resistencia, para la evaluación de la adhesión, tal como hemos argumentado en el capítulo de revisión bibliográfica, ya que se asemejan más a lo que nos podemos encontrar en la práctica sobre paciente.

7.6.- Longitud de los “tags”.

En principio nos planteamos averiguar la longitud de las prolongaciones de resina que penetran en el interior de los túbulos dentinarios, como una forma indirecta de estudiar el complejo de unión. La longitud de los “tags” no repercute en los valores de fuerza de adhesión^{16, 164}; incluso los propios “tags” tampoco tienen una gran relevancia en cuanto al total de la fuerza de adhesión¹⁷⁸.

En nuestro estudio los “tags” son más largos -hasta diez veces- cuando se ha utilizado el láser y el sistema adhesivo sin el grabado ácido. Como posible explicación a este hallazgo cabría destacar la posible desecación que se produce en la zona irradiada. Recordemos que la energía del láser de Er,Cr:YSGG es altamente absorbida por el agua, y que el interior de los túbulos dentinarios está repleto de contenido acuoso, siendo posible que dicho contenido sufra una evaporación en la parte mas cercana a la superficie durante la irradiación.

En este sentido cabría comentar los resultados de Iwaku y cols.¹⁷⁹ que estudiaron la longitud de los “tags” en dientes recién extraídos y en dientes almacenados en seco durante meses, encontrando diferencias entre sus longitudes muy parecidas a las que nosotros hemos observado. Este hallazgo los autores lo relacionan con la deshidratación que ha sufrido el diente durante su almacenamiento.

También hay que destacar que en condiciones de trabajo clínico sobre dientes vitales, la presión intrapulpal se distribuye hacia los fluidos presentes en los túbulos dentinarios, evitando que la resina pueda fluir a mayor profundidad¹⁸⁰.

El aspecto que ofrecen los “tags” examinados en nuestro estudio coincide con el descrito por los autores consultados^{122, 153}, tal como se ha mencionado en el apartado de resultados.

Quizás la acción del ácido ortofosfórico, sobre la dentina irradiada, permitió el paso de líquido, desde el gel hacia los túbulos y por ello la longitud de los “tags” en este Grupo sea mucho menor que en el Grupo en el que no se aplicó grabado ácido. Evidentemente, si esto fuera así se debería estudiar el posible daño pulpar por la acción del ácido ortofosfórico, pudiendo ser un argumento más para omitir su uso sobre la dentina preparada con el láser de Er,Cr:YSGG.

7.7. Cálculo de la muestra.

Después del estudio estadístico de las fuerzas de resistencia a las fuerzas de cizalla y valorando las tendencias en los resultados, creemos que quizás aumentando el número de muestras se hubiesen podido encontrar más diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio.

Ya se ha descrito cómo se efectuó el cálculo del número de muestras en relación a los artículos consultados, y cuáles fueron dichos trabajos. En un principio nos pareció un número aceptable, incluso exagerado, incluir 30 muestras en cada grupo de estudio, puesto que en muchos de los trabajos precedentes el volumen muestral, dada la varianza observada, era inaceptable en cuanto a la fiabilidad del resultado obtenido.

En la tabla 28 se muestran los diferentes autores referenciados anteriormente, y el número de grupos y muestras por grupo en los que se basaron sus estudios.

Primer autor y año	n° de grupos	n° de muestras por grupo
Burnett LH 2001	3	15
Ceballos L 2002	3	20
Corona S 2005	6	10
De Munck J 2002	6	4-21 (*)
De Souza AE 2004	3	12
Donadio-Moura J 2005	6	15
Dunn WJ 2005	6	20
Gonçalves M 2002	6	7
Kameyama A 2002	5	8
Lin S 1999	2	6
Manhaes 2005	6	30-36 (*)
Oliveira D 2005	8	2
Ramos R, 2002	6	10
Visuri SR 1996	4	11-21 (*)

Tabla 28. Resumen del número de grupos y número de muestras por grupo utilizado en estudios de fuerzas de adhesión en dentina irradiada. (*) Distinto número de muestras en cada grupo.