



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

## 5.- MATERIAL Y MÉTODO.



A continuación se detallará todo lo concerniente a la realización del experimento.

#### 5.1.- Material.

En este apartado se reseñarán todos aquellos materiales utilizados para la ejecución de la fase experimental, si bien su utilización será comentada en el apartado referente al método.

##### 5.1.1.- Dientes humanos.

Para el presente estudio se utilizaron dientes humanos, terceros molares, obtenidos de las exodoncias efectuadas en el Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Facultad de Odontología de la Universidad de Barcelona, dirigido por el Prof. Dr. Cosme Gay Escoda, tras el consentimiento informado, firmado por el donante.

Con el fin de obtener una muestra homogénea, recordemos que existen diferentes parámetros que pueden modificar los resultados, los dientes se seleccionaron según los siguientes criterios:

- Rango de edad del paciente; dado que la edad del paciente puede influir en el grado de calcificación de la dentina, y que la mayoría de pacientes que acuden para la extracción de cordales suelen tener menos de 30 años, se seleccionaron aquellos comprendidos entre los 20 y 23 años.

- Grado de inclusión; para evitar que los dientes seleccionados puedan haber sufrido manipulaciones lesivas, se escogieron aquellos cordales que estaban en retención mucosa, o parcialmente erupcionados, y que pudieran haber sido extraídos sin odontosección.
- Estado del diente; aquellos dientes que presentaron caries o alteraciones morfológicas, como hipoplasia, dentinogénesis imperfecta u otras, fueron descartados del estudio.

Los dientes, tras la extracción, fueron conservados en agua destilada estéril Fresenius (Kabi, Barcelona, España) (Figura 31) y a una temperatura entre 4 y 6° C hasta su uso (Figuras 32 y 33).

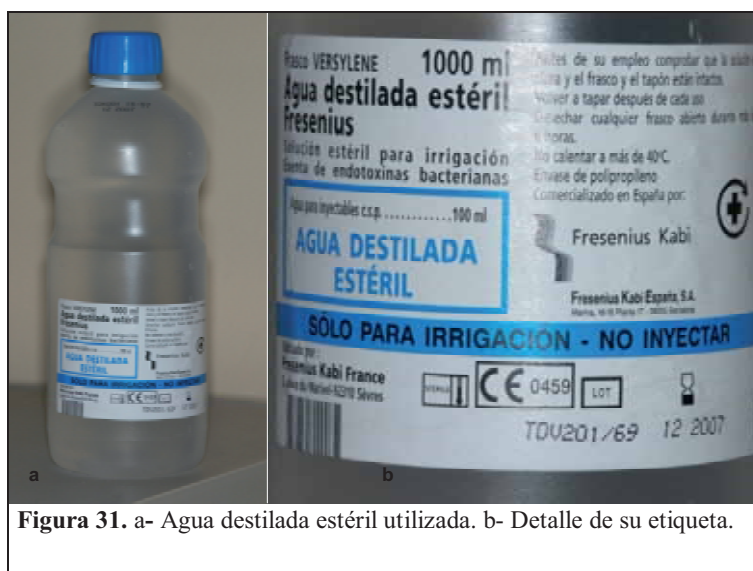
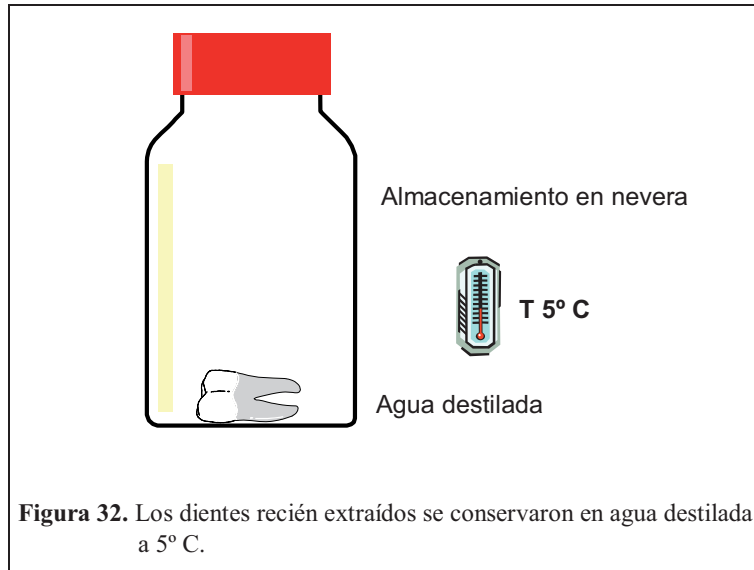


Figura 31. a- Agua destilada estéril utilizada. b- Detalle de su etiqueta.

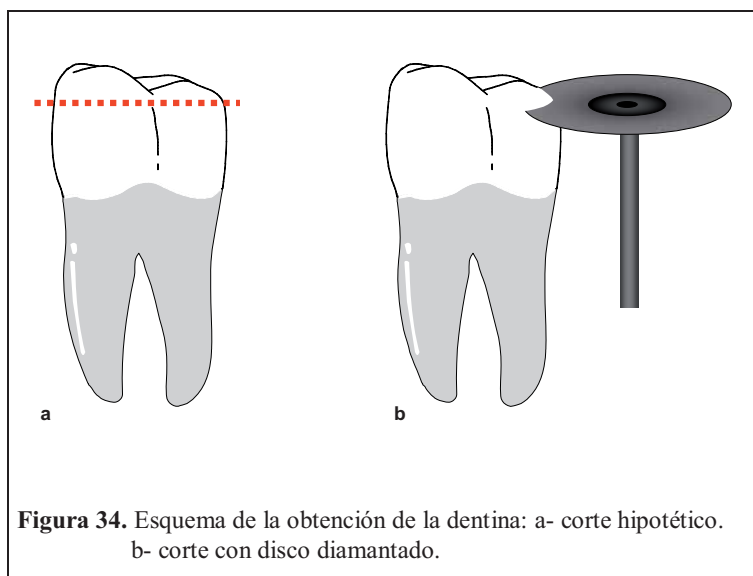


### 5.1.2.- Preparación de los especímenes.

Con la finalidad de obtener una zona amplia y homogénea de dentina, los dientes se prepararon de la siguiente forma:

- Todos los especímenes fueron cortados de forma transversal, eliminando su cara oclusal, a 1,5 mm, aproximadamente, de su surco oclusal más profundo tal como

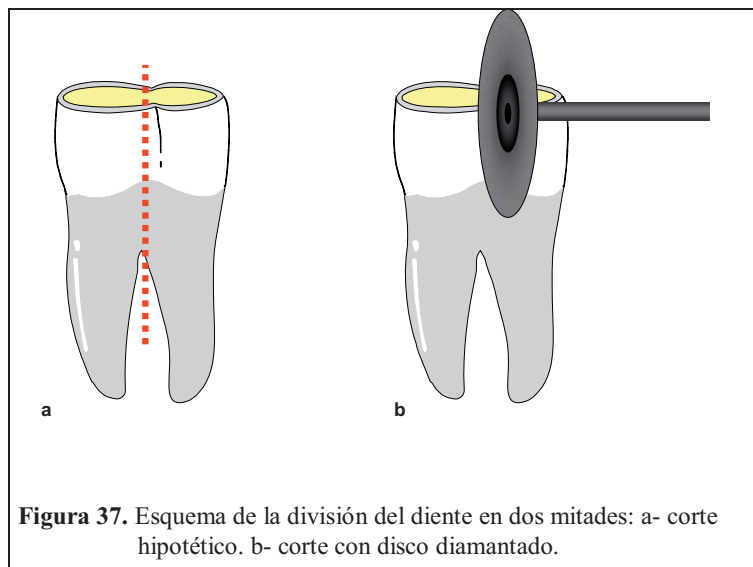
se muestra en el esquema de la figura 34a. Para ello se utilizaron discos diamantados de grano ultra-fino 361F Diaflex® (Horico, Berlín, Alemania), montados en una pieza de mano KaVo 10B (KaVo, Biberach, Alemania) a 10000 revoluciones por minuto. (Figuras 34b, 35 y 36).





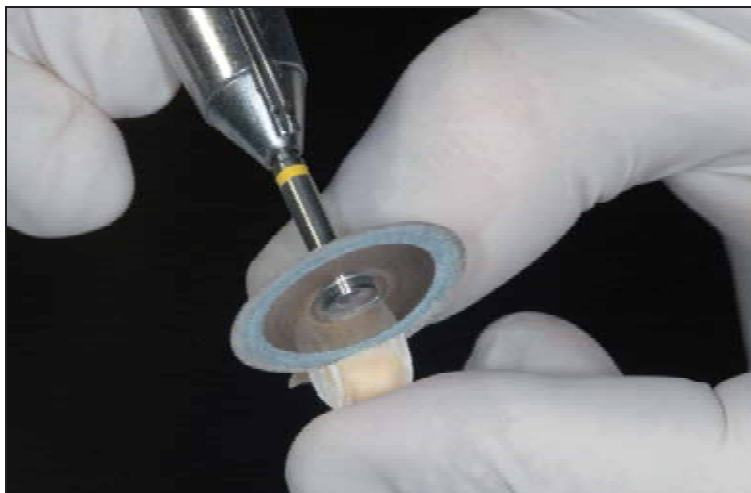
**Figura 36.** Imagen del diente tras ser eliminada su cara oclusal.

- Posteriormente se seccionaron en dos mitades, siguiendo una línea imaginaria que cruce entre sus raíces, por la furca del diente, tal como se muestra en el esquema de la figura 37 y la fotografía de la figura 38, hasta obtener dos hemidientes (Figuras 39,40 y 41).

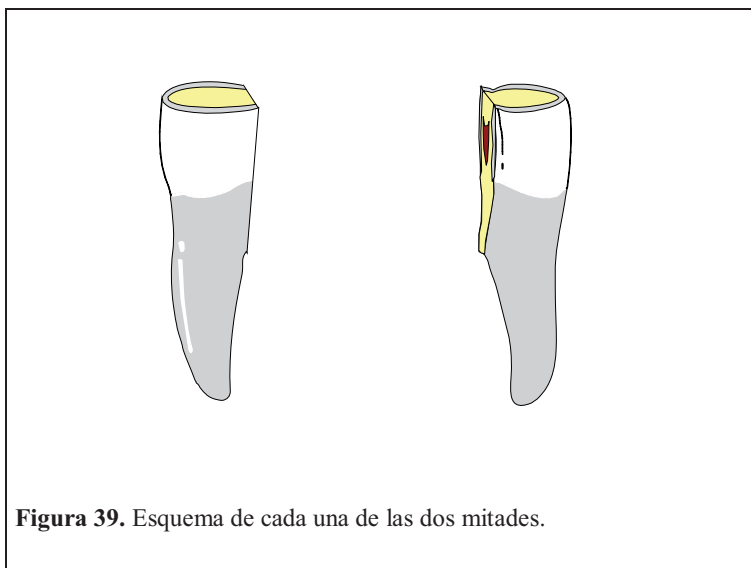


**Figura 37.** Esquema de la división del diente en dos mitades: a- corte hipotético. b- corte con disco diamantado.





**Figura 38.** Imagen de la división del diente en dos mitades.



**Figura 39.** Esquema de cada una de las dos mitades.



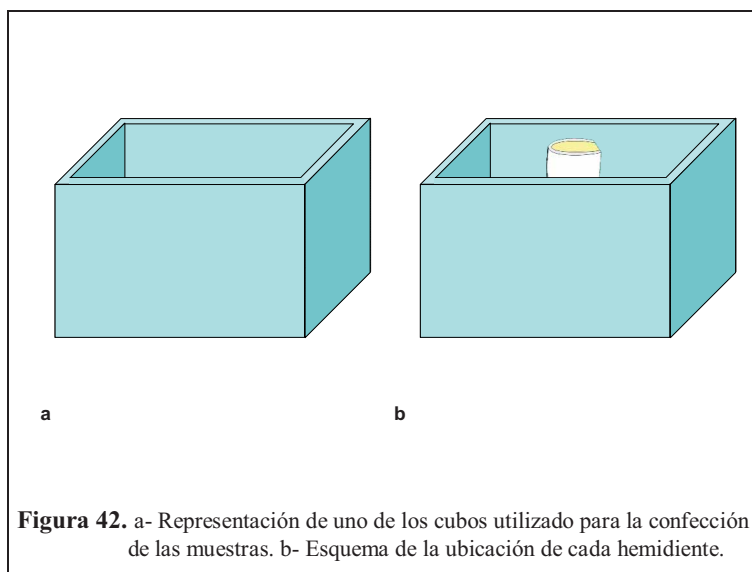
**Figura 40.** Fotografía de cada una de las dos mitades de uno de los especímenes.



**Figura 41.** Fotografía de las dos mitades de uno de los especímenes por su cara oclusal.

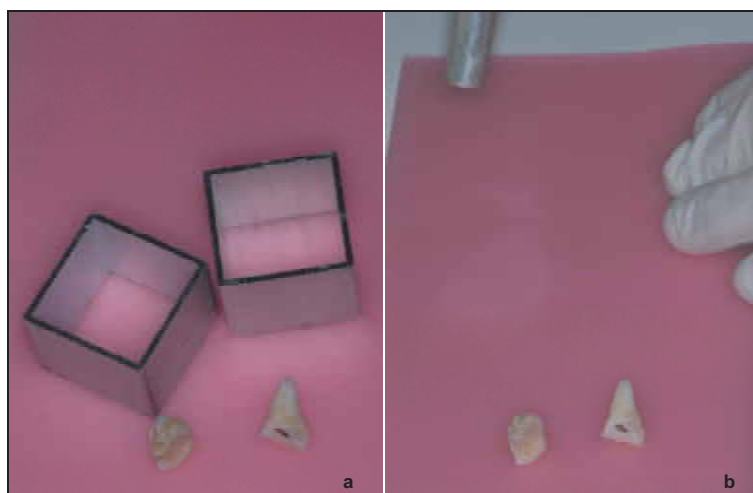
### 5.1.3.- Fijación de los especímenes.

Cada uno de los especímenes se colocó fuertemente anclado en el interior de un recipiente, de forma que la dentina expuesta pueda ser utilizada para la posterior evaluación de las fuerzas de adhesión. Para ello se utilizaron porciones de 2 cm de un tubo cuadrado industrial, de aluminio, con una sección de 2,5 cm de lado (Figuras 42a y 43a), para que el hemidiente quedara en la situación que muestra el esquema de la figura 42b.



**Figura 42.** a- Representación de uno de los cubos utilizado para la confección de las muestras. b- Esquema de la ubicación de cada hemidiente.

Para ubicar cada espécimen en el interior del cubo de aluminio, se utilizaron planchas de cera. La cera se calentó con un mechero de gas (Figura 43b) para poder posicionar cada espécimen en la situación descrita (Figura 44).



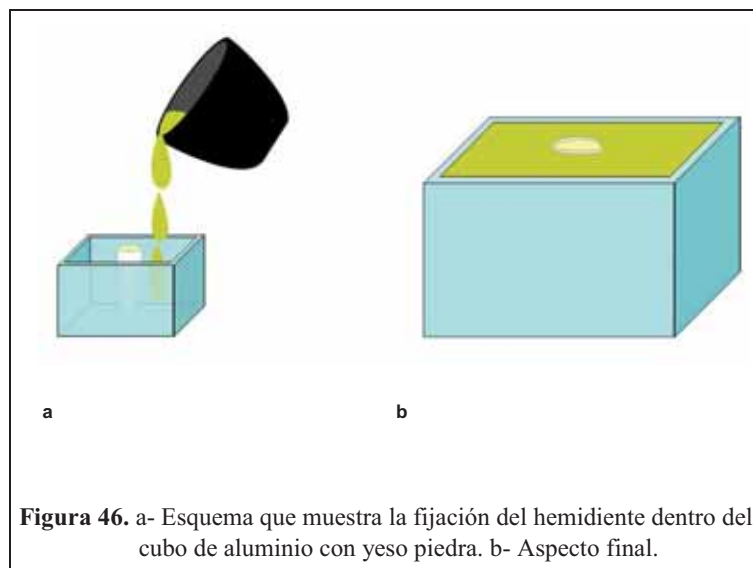
**Figura 43.** a-Cubos de aluminio y los dos hemidientes. b- Calentamiento con mechero de gas de la superficie de la cera.



**Figura 44.** a- Colocación del primer hemidiente sobre la cera reblandecida. b- Colocación de la segunda mitad

Una vez estabilizada la posición del hemidiente (Figura 45) se fijó fuertemente al cubo de aluminio mediante yeso piedra semisintético GC Fuji-Rock (Fuji Dental

Techno, Tokyo, Japón), que se preparó siguiendo las instrucciones del fabricante, para posteriormente colocarlo en el interior de los cubos de aluminio (Figuras 46, 47, 48 y 49)





**Figura 47.** a- Preparación del yeso piedra. b- Inicio del vaciado en el interior del cubo de aluminio.



**Figura 48.** a- Fotografía correspondiente al vaciado. b- Vaciado finalizado.



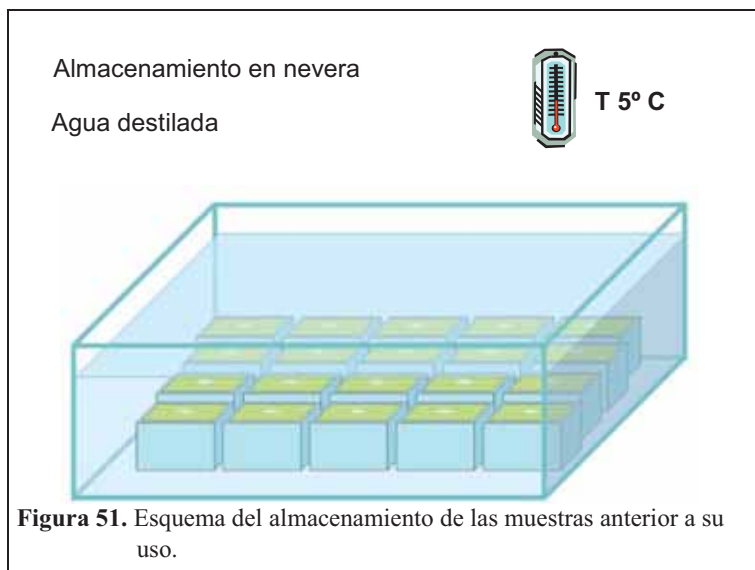
**Figura 49.** Fotografía de las muestras listas para su almacenamiento.

A cada una de las muestras se le asignó un número correlativo. Para que se pudieran identificar los dos hemidientes de cada espécimen, éstos poseían el mismo número de muestra, diferenciados con “A” y “B” para cada una de las dos mitades, tal como se ve en la figura 50.

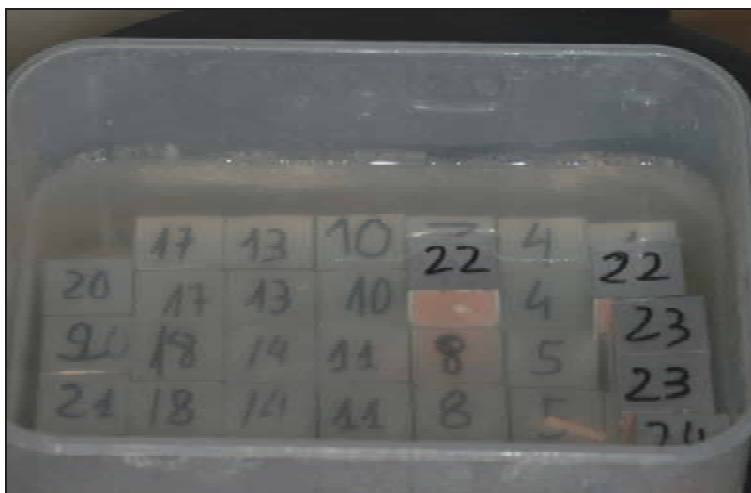


**Figura 50.** Imagen de las dos muestras tras el fraguado del yeso piedra.

Las muestras fueron nuevamente almacenadas en agua destilada a 5° C, en el interior de un frigorífico, hasta su posterior utilización (Figuras 51 y 52).



**Figura 51.** Esquema del almacenamiento de las muestras anterior a su uso.



**Figura 52.** Fotografía del recipiente donde se almacenaron las muestras hasta su uso.

#### 5.1.4.- Láser de Er,Cr:YSGG.

Para la preparación de aquellas muestras que tenían que ser irradiadas, se utilizó un láser de Er,Cr:YSGG, el Waterlase® (Biolase, San Clemente, EE.UU.). Se trata de una unidad emisora de energía láser de alta potencia cuya cavidad de resonancia posee un cristal de tipo “granate” y que emite en modo pulsado con una longitud de onda de 2780 nanómetros en el infrarrojo del espectro

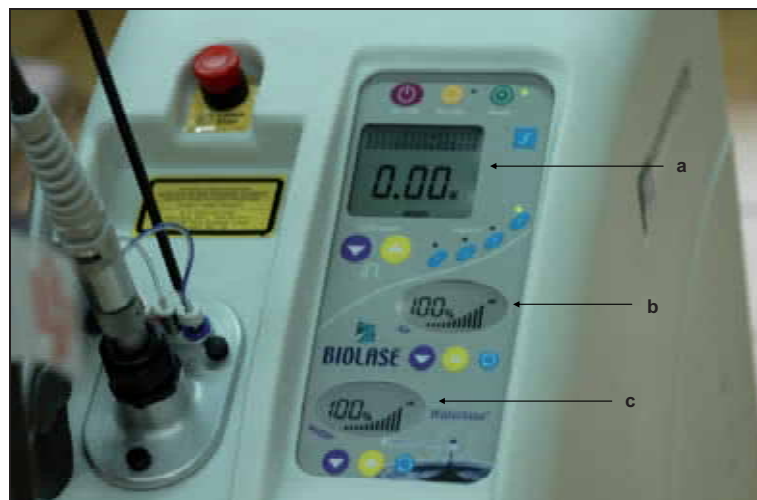


**Figura 53.** a- Fotografía del sistema láser utilizado. b- Pieza de mano. c- “Tip” G-4 mm

electromagnético. Se clasifica como un láser de clase IV. (Figura 53)

Su medio activo es un Granate (cristal rombododecaedro, G) que está compuesto por Itrio (Yttrium, Y), Escandio (Scandium, S) y Galio (Gallium, G) contaminado con Erblio (Erbium, Er) y Cromo (Chromium, Cr).

Este láser utiliza un sistema de transmisión por fibra óptica. El sistema emite la luz de modo pulsado, con una duración de pulso que oscila entre 140 y 200  $\mu$ seg, según la energía que libere, y una frecuencia de repetición constante de 20 disparos por segundo (20 Hz). La potencia de salida puede variar entre 0.0W y 6.0 W, con la posibilidad de hacer incrementos sucesivos de 0,25W. La unidad permite ajustar los niveles de spray de aire y de agua de forma independiente y con total precisión (Figura 54). De esta forma el operador puede seguir los protocolos recomendados para los diferentes tratamientos, ya que variaciones en los parámetros pueden producir diferentes efectos sobre los tejidos irradiados. Los protocolos de irradiación se obtienen en función



**Figura 54.** Panel de control del Waterlase. a- Lectura de la potencia, b- Porcentaje de aire, c- Porcentaje de agua.



de los resultados alcanzados en trabajos de investigación, publicados por la comunidad científica, en los cuales se ha utilizado este láser.

Una de las características principales de este láser es la utilización del spray de agua y de aire que al combinarse con el haz de luz láser provoca un efecto que se ha denominado, según el fabricante, como efecto hidrocínético, y que está basado en la capacidad de absorción que posee el agua frente a esta longitud de onda (Figuras 1 y 2 página 62).

La energía láser es conducida desde la unidad emisora hasta la pieza de mano a través de una fibra refrigerada. La pieza de mano (Figuras 28, 29 y 53b, páginas 170, 171 y 188 respectivamente) se inserta en el extremo de la fibra, y a su vez se coloca un elemento óptico, en su interior, para conducir la energía hasta la zona de aplicación. Cada uno de estos elementos ópticos o puntas intercambiables también es conocido como “tip”, existiendo diferentes diseños de los mismos para diversas aplicaciones (Figura 6, página 74).



**Figura 55.** Fotografía de un “tip” G-4 mm. Obsérvese la ligera conicidad de dicho “tip”.

Para este estudio se utilizó exclusivamente el “tip” G-4 mm (Figuras 53c y 55), el cual presenta una ligera conicidad, por lo cual, según el fabricante, se produce una pérdida de energía de un 10%.

#### 5.1.4.1.- Cálculo de la densidad de energía por pulso.

Tal como hemos comentado con anterioridad en el capítulo 1.5.1., la cantidad de energía liberada por unidad de superficie en cada pulso es un parámetro de gran interés para la posterior evaluación de los efectos producidos.

Teniendo en cuenta que la pantalla de la unidad emisora indica la potencia en vatios (W), debemos calcular la energía que se libera en cada pulso. Para ello sólo es necesario dividir la potencia en vatios por el número de disparos que se efectúan en un segundo. Así pues, por ejemplo, si la potencia es de 4 W, dado que la frecuencia de repetición de disparos es de 20 pulsos por segundo el resultado será de 200 mJ o lo que es lo mismo 0,2 Julios.

También hemos comentado anteriormente que cada uno de los diferentes “tips” posee factores de corrección para el cálculo real de la energía liberada, correspondiendo, según el fabricante, una pérdida aproximada del 10% de energía cuando se utiliza el “tip” G-4mm.

### 5.1.4.1.1- Calibración de la unidad.

Para el cálculo real de la potencia en la que emite el láser usado en este experimento, se utilizó el medidor LaserMate/D (Coherent Inc., Santa Clara, EE.UU.)

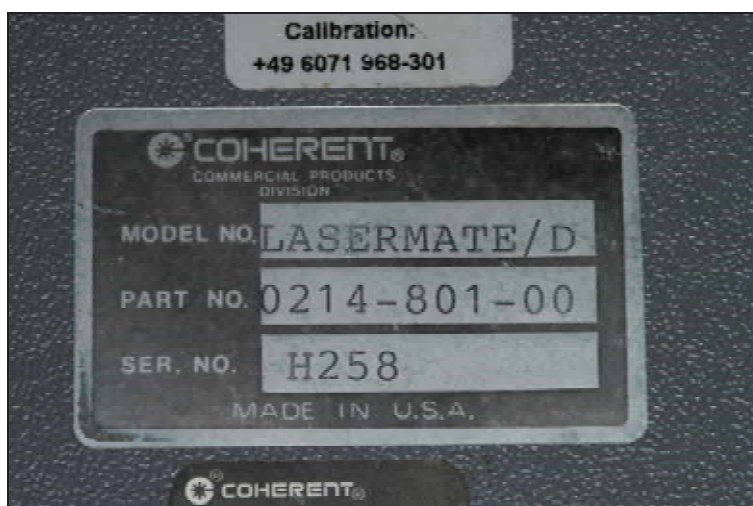


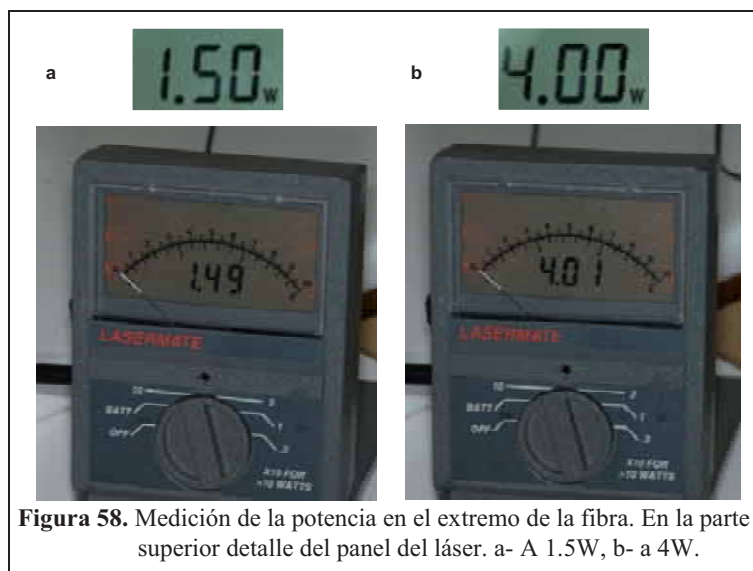
Figura 56. Fotografía de la referencia del medidor de potencia.

(Figuras 56 y 57) capaz de medir la potencia emitida por cualquier láser infrarrojo cuando se aplica la energía en el interior de su medidor (Figura 57a)



Figura 57. Medidor de potencia LaserMate D. a- Receptor de energía.  
b- Panel de lectura.

En primer lugar se verificó la potencia (W) emitida en el extremo de la fibra óptica, sin la utilización de la pieza de mano (Figura 58). Se obtuvieron valores con diferencias inferiores al 1%, considerados como válidos según las especificaciones propias del fabricante. Este paso, así como la medición de la potencia de salida en el extremo del “tip”, se repitió antes de la irradiación de cada muestra, para tener la seguridad de la dosimetría aplicada a cada una de ellas. Así como la fibra no presentó pérdida de energía durante todo el experimento, algunos “tips” debieron ser sustituidos por presentar algún deterioro producido por la irradiación.



La medición de la potencia “real” de trabajo se efectuó con el mismo aparato utilizando la pieza de mano con el “tip” G-4mm, sin spray de aire y agua (Figura 59).

Las indicaciones del fabricante en relación a la pérdida de energía que se produce al utilizar este “tip” fueron comprobadas previamente a la irradiación de cada una de las muestras.



Figura 59. Medición de la potencia real en el extremo del “tip”.

Los valores obtenidos se adecuaban a los esperados (Figura 60). Hay que reseñar que en la literatura, la mayoría de las veces, no hacen constar la comprobación de los valores de potencia utilizados, paso que, por otra parte, nos parece de obligado cumplimiento.

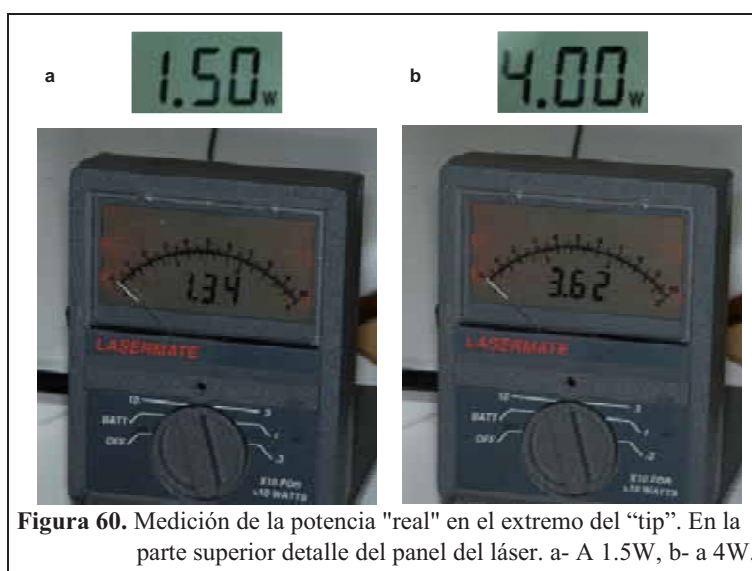
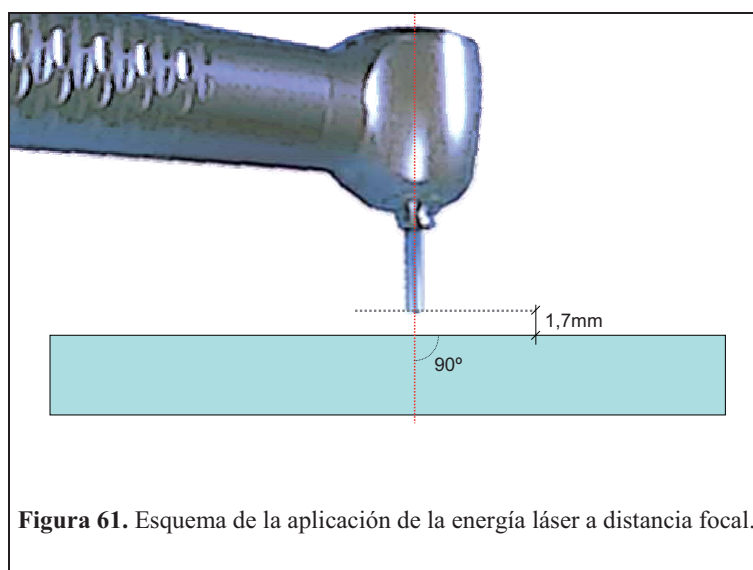


Figura 60. Medición de la potencia "real" en el extremo del “tip”. En la parte superior detalle del panel del láser. a- A 1.5W, b- a 4W.

#### 5.1.4.1.2- Cálculo de la superficie del impacto.

En capítulos anteriores ya hemos comentado la importancia que tiene conocer con exactitud el diámetro del impacto, ya que el valor de densidad de potencia varía si se modifica el valor de la superficie de aplicación.

Deberíamos tener en cuenta que la distribución de los fotones no es homogénea, y que en el caso de esta unidad emisora de láser, la zona central del área de impacto presenta mayor efecto físico que la periferia debido al mayor número de fotones que circulan por el eje central del haz de luz. A pesar de ello los cálculos se efectúan a partir del diámetro del impacto, considerando que la energía se ha distribuido de forma uniforme. El efecto ablativo de este láser es mayor cuanto más cerca se esté de su distancia focal de aplicación. Por ello, al igual que tantos otros trabajos, se optó por su utilización en modo focalizado.



**Figura 61.** Esquema de la aplicación de la energía láser a distancia focal.

Según los datos facilitados por el fabricante, la distancia focal con el “tip” G-4mm es de 1,7mm desde el extremo del “tip”, y el diámetro del impacto es de 0,8mm, cuando la energía se libera perpendicularmente sobre el tejido u objeto diana (Figura 61).

Para el cálculo del diámetro de un impacto según sea la distancia existente entre el “tip” y la superficie diana, se procedió de la siguiente forma: la pieza de mano fue posicionada y sujeta de forma perpendicular al plano de impacto (Figuras 62 y 63).

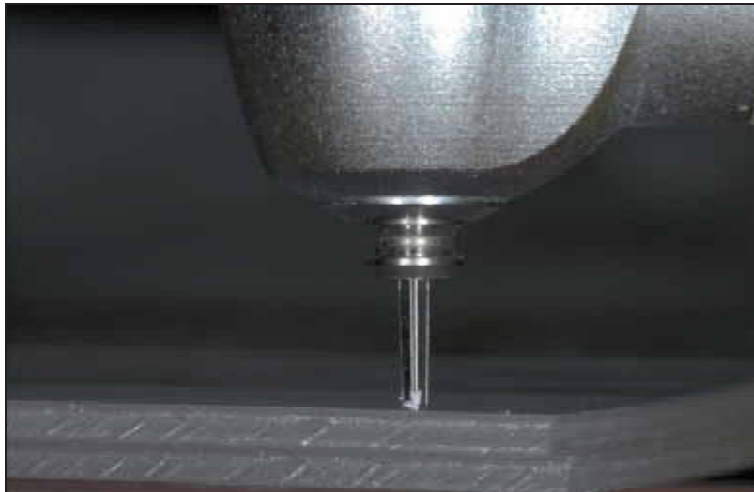


**Figura 62.** Sujeción de la pieza de mano para el cálculo del diámetro del impacto.

Para la ajustar la distancia entre el extremo del “tip” y la superficie de aplicación se utilizaron planchas con grosores conocidos (Figura 64). Se colocó una plancha de 1,7mm de grosor para el cálculo del diámetro a distancia focal, y planchas con grosores de 1mm para el estudio de la variación del diámetro del impacto en función de la distancia.



**Figura 63.** Comprobación de la perpendicularidad del “tip”.

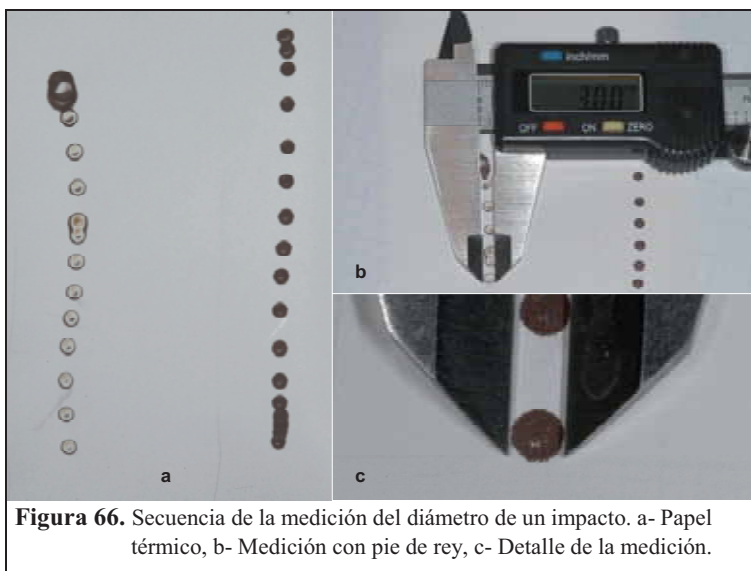


**Figura 64.** Cálculo de la distancia de aplicación con planchas de 1mm de grosor.

Debido al pequeño tamaño de los impactos obtenidos se optó por utilizar unas gafas con lupas de aumento. Se emplearon las gafas Orasoptic (Sybron Dental Specialities, Middleton, EE.UU.) así como un pie de rey Digital Caliper Lui-1 (RNP, Cantón, China) (Figura 65).



Los impactos se registraron a las distancias preestablecidas, con un papel termográfico. Se empleó papel térmico para fax Paperfax 110E (Xerox, San Diego, EE.UU.) para poder medir el diámetro del impacto (Figura 66).

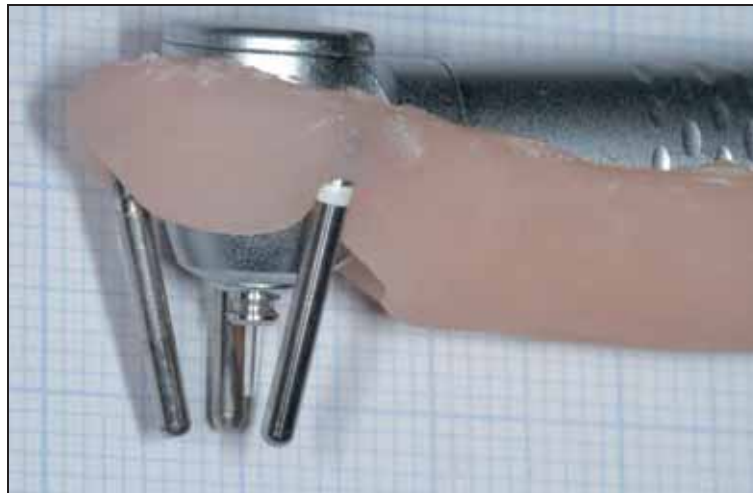


Los valores del diámetro del impacto, así como el cálculo de la densidad de energía por pulso, cuando el dial mostró 4W, utilizando la pieza de mano acodada y el “tip” G-4mm, se recogen en la Tabla 5, así como el cálculo real de la “fluence”.

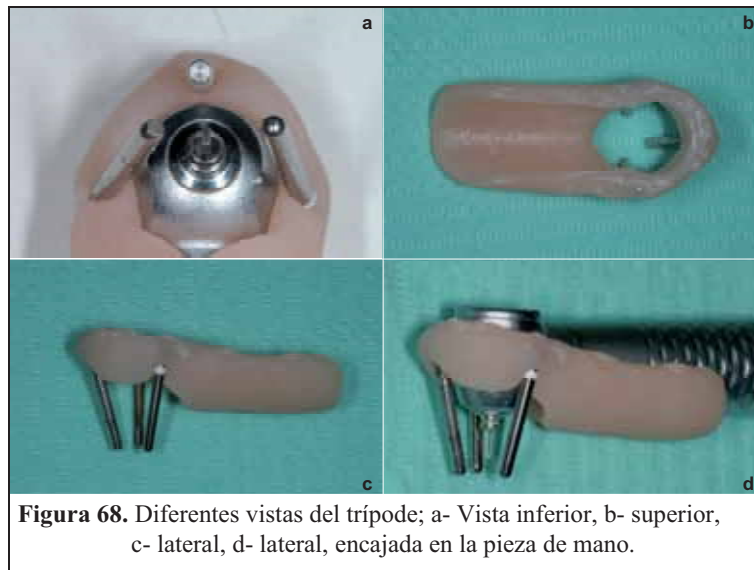
Distancia	Diámetro del spot	Fluence	Fluence "real"
0,0 mm	0,60 mm	70,74 J/cm <sup>2</sup>	63,67 J/cm <sup>2</sup>
1,0 mm	0,70 mm	51,97 J/cm <sup>2</sup>	46,77 J/cm <sup>2</sup>
1,7 mm	0,80 mm	39,79 J/cm <sup>2</sup>	35,81 J/cm <sup>2</sup>
2,0 mm	0,90 mm	31,44 J/cm <sup>2</sup>	28,29 J/cm <sup>2</sup>
3,0 mm	1,15 mm	19,26 J/cm <sup>2</sup>	17,34 J/cm <sup>2</sup>
4,0 mm	1,40 mm	12,99 J/cm <sup>2</sup>	11,69 J/cm <sup>2</sup>
5,0 mm	1,65 mm	9,34 J/cm <sup>2</sup>	8,41 J/cm <sup>2</sup>
6,0 mm	1,90 mm	7,06 J/cm <sup>2</sup>	6,36 J/cm <sup>2</sup>
7,0 mm	2,15 mm	5,51 J/cm <sup>2</sup>	4,96 J/cm <sup>2</sup>
8,0 mm	2,40 mm	4,42 J/cm <sup>2</sup>	3,98 J/cm <sup>2</sup>
9,0 mm	2,70 mm	3,23 J/cm <sup>2</sup>	2,91 J/cm <sup>2</sup>
10,0 mm	3,00 mm	2,83 J/cm <sup>2</sup>	2,55 J/cm <sup>2</sup>

**Tabla 5.** Valor de la densidad de energía por pulso (fluence) a 200 mJ, variando la distancia de aplicación (diámetro del spot). Valores obtenidos con el tip G-4mm

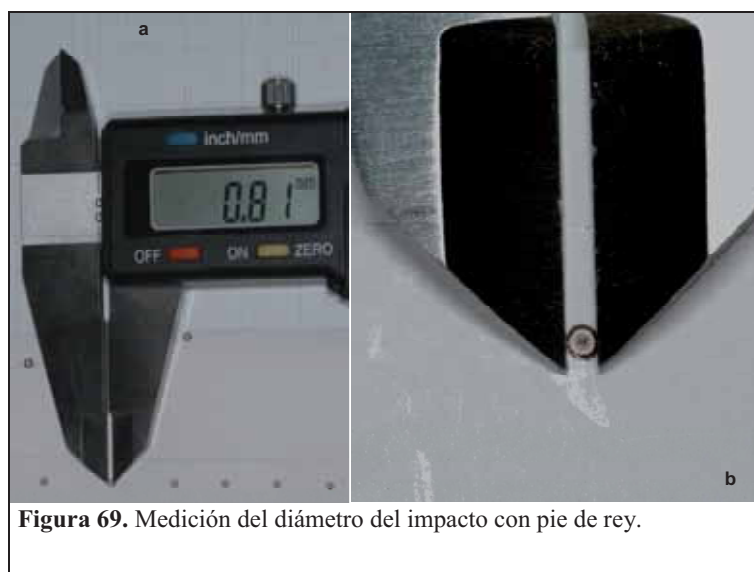
Para la irradiación de las muestras se construyó un elemento capaz de mantener la distancia focal durante su uso. Para ello, con resina acrílica autopolimerizable, se confeccionó un pequeño trípode, encajado en la pieza de mano, que permitía que el extremo del “tip” permaneciera a 1,7mm de la zona de impacto (Figuras 67 y 68).



**Figura 67.** Trípode para la irradiación de las muestras, a 1,7mm.

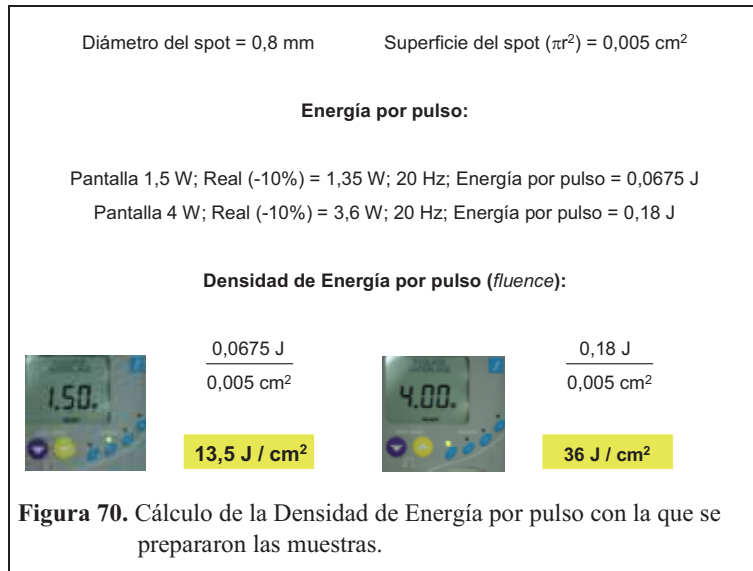


Previamente a la irradiación de las muestras se comprobó el diámetro del impacto con la utilización del trípode (Figura 69).



### 5.1.4.1.3.- Densidad de Energía por Pulso utilizada en este estudio.

El cálculo de la Densidad de Energía por Pulso, con la que se prepararon las muestras de este estudio se expone en la Figura 70.



### 5.1.5.- Lijadora.

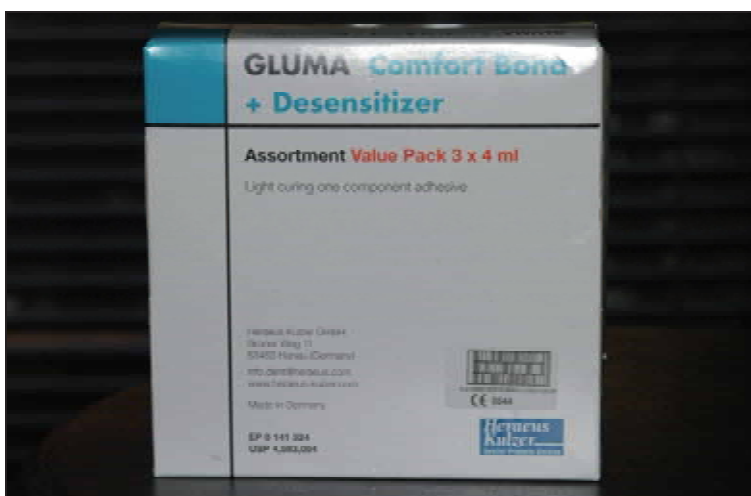
Para la obtención de barrillo dentinario, al igual que en otros trabajos, se utilizó papel de lija de grano ultrafino. En este trabajo utilizamos una lijadora eléctrica Parkside PEBS 900 (Kompernaß GmbH, Bochum, Alemania), con cinta rotativa de papel de lija con partículas de 8µm P-300 (Kompernaß GmbH, Bochum, Alemania) (Figura 71).



**Figura 71.** Lijadora utilizada para obtener barrillo dentinario en las muestras.

#### 5.1.6.- Sistema adhesivo.

En todas las muestras se aplicó el mismo sistema adhesivo, el Gluma Comfort Bond + Desensitizer (Heareus Kulzer GMBH, Hanau, Alemania) (Figura 72). Se seleccionó este sistema adhesivo por contener en su composición la molécula 4-META y por no ser un sistema autograbante, ya que requiere el uso de ácido ortofosfórico para la preparación del esmalte y dentina.



**Figura 72.** Sistema adhesivo utilizado.

Para su aplicación se siguieron estrictamente todas las indicaciones y tiempos de trabajo recomendados por el fabricante.

Se trata de un sistema adhesivo de un solo frasco que además de la molécula 4-META (4-Metacril oxyEtil Trimetil Anhídrido) contiene HEMA (2-HidroxiEtil MetAcrilato), UDMA (Uretano DiMetAcrilato), ácido poliacrílico y glutaraldehído. Como solvente utiliza agua y etanol.

Se requiere la utilización previa de ácido ortofosfórico al 20% durante 10 segundos para desmineralizar ligeramente la dentina y así permitir el paso del monómero.

El ácido ortofosfórico utilizado fue el Gluma 20 Etch Gel (Heareus Kulzer GMBH, Hanau, Alemania) (Figura 73). Tras la aplicación durante 20 segundos se enjuagó con spray de aire y agua durante 1 a 2 segundos, para seguidamente aplicar el



**Figura 73.** Gel de ácido ortofosfórico al 20%.

sistema adhesivo, de forma activa, durante 15 segundos. Existen dos formas de aplicar el sistema adhesivo: de forma pasiva, es decir, mojando la superficie de la dentina sin más, y de forma activa, o lo que es igual, frotando el aplicador del adhesivo, impregnado con el mismo, sobre la superficie de la dentina. Tras los 15 segundos de haber aplicado el adhesivo, se administró un suave chorro de aire durante 2 a 5 segundos, para evaporar el solvente y a continuación se fotopolimerizó durante 20 segundos.

#### 5.1.5.- Lámpara halógena.

Para la fotopolimerización de todos los materiales que requieren dicho proceso, se empleó la lámpara y los tiempos aconsejados por el fabricante. La lámpara utilizada fue la Translux Energy (Heareus Kulzer GmbH, Hanau, Alemania) (Figura 74).

La Translux Energy es una lámpara halógena con filtrado de la luz, que emite en un rango de 400 a 515nm, es decir, en el azul del espectro electromagnético visible.



**Figura 74.** Lámpara halógena para la polimerización de los materiales.  
a- Vista lateral, b- base de la unidad, c- modo exponencial.

Según el fabricante del material de obturación, que se describe más adelante, es importante realizar la polimerización con un inicio gradual. Esta unidad inicia la polimerización con densidades de potencia aproximada de  $200\text{mW}/\text{cm}^2$  y tras 15 segundos alcanza los  $900\text{mW}/\text{cm}^2$  (Figura 74c). La luz se transmite a través de una fibra óptica rígida de 8mm de diámetro.

#### 5.1.6.- Materiales compuestos.

En todas las muestras se aplicaron los mismos materiales de obturación:

##### 5.1.6.1.- Resina fluida o “flow”.

En todas las muestras se aplicó una fina capa de resina fluida híbrida de micropartículas directamente sobre el sistema adhesivo. El material empleado fue el Flowline (Heareus Kulzer GMBH, Hanau, Alemania) (Figura 75).



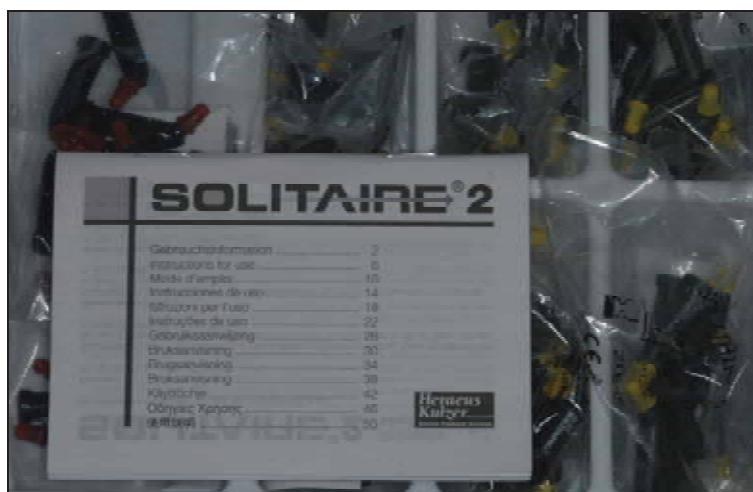
**Figura 75.** Resina fluida "flow".



La elección de la aplicación de una resina de estas características ya ha sido razonada anteriormente.

#### 5.1.6.2.- Resina compuesta.

Para la confección de los cilindros de resina de las muestras, se optó por un material acorde con todos los anteriores. Por ello se seleccionó, del mismo fabricante,



**Figura 76.** Material compuesto para restauraciones.

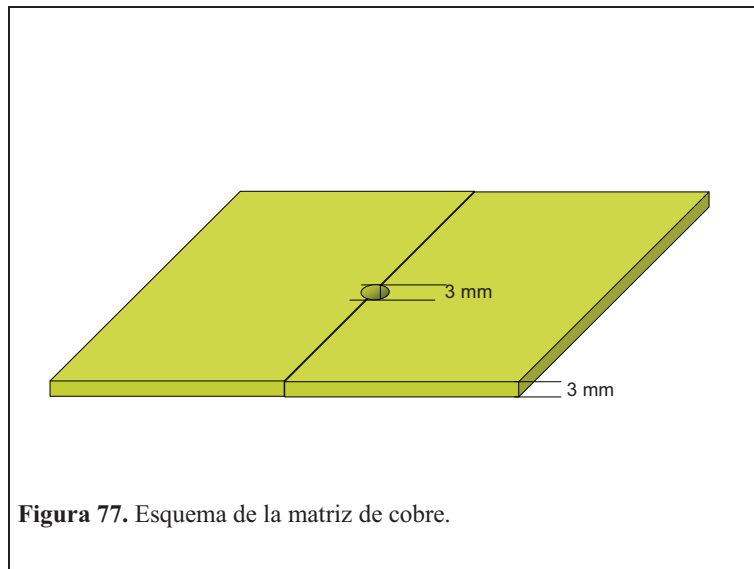
un material compuesto comercializado con el nombre de Solitaire 2 (Heareus Kulzer GmbH, Hanau, Alemania) (Figura 76). Se trata de un material diseñado para la restauración de dientes posteriores, con un alto contenido inorgánico de micropartículas, próximo al 75% en peso, mezclado con una base multifuncional de ácidos y ésteres acrílicos. Este material es acorde con la resina fluida utilizada y es la combinación recomendada por el fabricante conjuntamente con el sistema adhesivo.

Los tiempos de polimerización de cada capa fueron, estrictamente, respetados; 40 segundos para cada capa, y 40 segundos al retirar la matriz, siempre en modo exponencial.

#### 5.1.7.- Matriz de cobre.

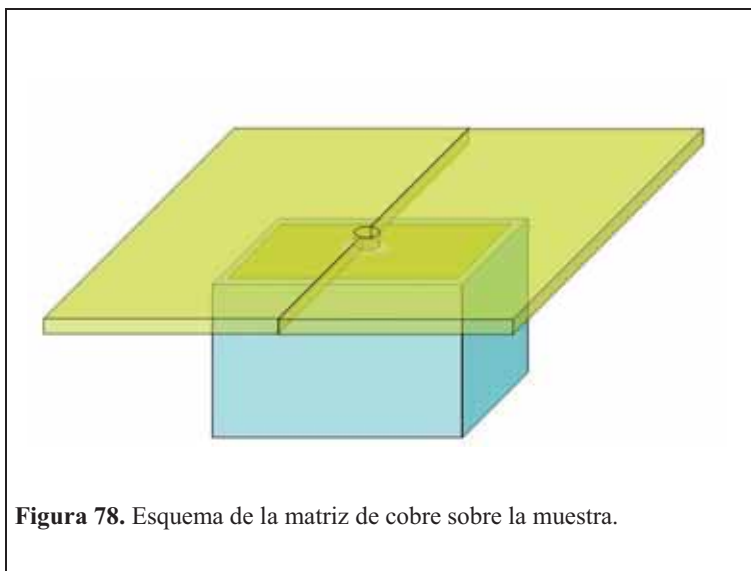
Para la construcción de los cilindros de resina adheridos a la superficie de la dentina tratada, se confeccionó una matriz que permitiera la aplicación de los materiales de obturación y que dichos bloques pudieran tener un tamaño conocido.

En la mayoría de trabajos los bloques de resina están adheridos sobre una superficie circular de 3mm de diámetro, y poseen 3mm de altura. Con esta finalidad se

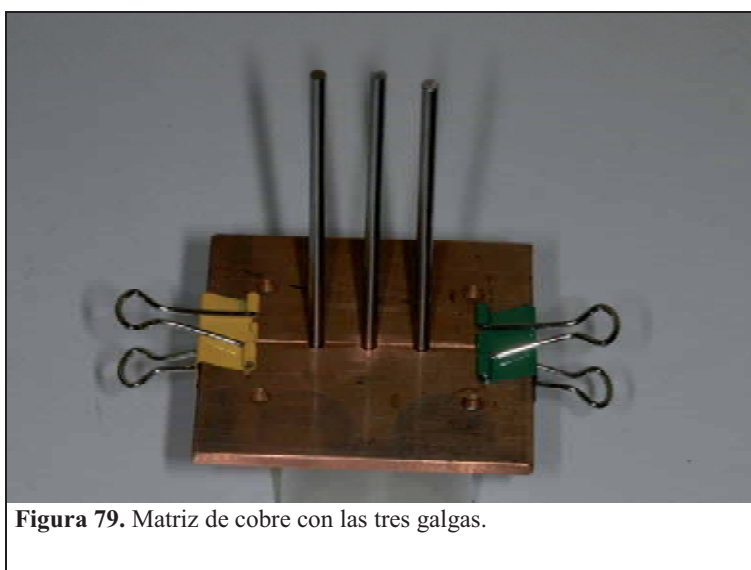


diseñó y fabricó una matriz de cobre, compuesta por dos mitades de 3mm de grosor, que al unirse dejaban un orificio de 3 mm de diámetro, tal como se muestra en la figura 77.

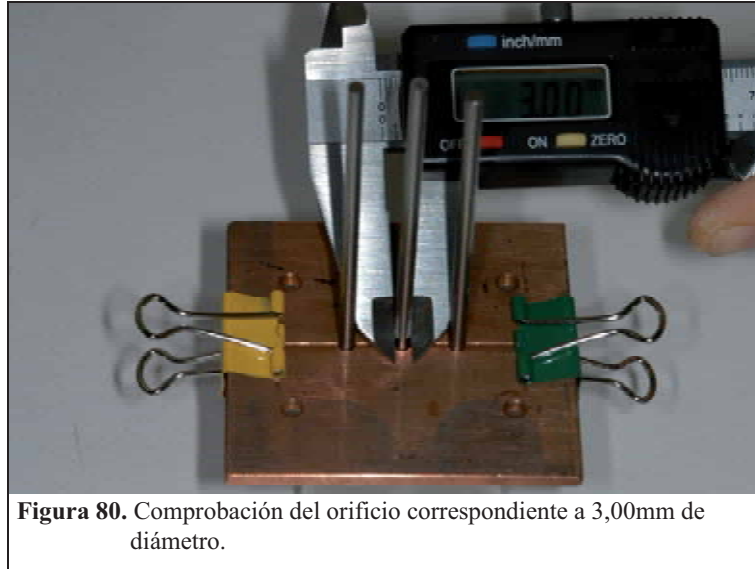
La matriz de cobre se colocó sobre todos los especímenes para la confección de los bloques de resina, tal como se muestra en el esquema de la Figura 78, de forma que el orificio coincidiera con la superficie de dentina tratada.



La matriz de cobre fue realizada por un matricero ajustador con total exactitud. Además del agujero de 3,00mm se efectuaron 2 orificios más. Uno de 3,05mm de



diámetro y otro de 3,10mm de diámetro. Con la ayuda de tres galgas cilíndricas de los mismos diámetros, se pudo comprobar la exactitud de cada uno de los orificios (Figuras 79 y 80).



**Figura 80.** Comprobación del orificio correspondiente a 3,00mm de diámetro.

Se optó por este diseño en dos mitades, para evitar interferir sobre la zona de unión entre dentina y material de obturación en el momento de quitar la matriz, ya que así la matriz podía ser retirada de forma lateral sin generar fuerzas que pudieran alterar la interfase de unión.

## 5.2.- Método.

En este apartado se expone la utilización de los materiales descritos para la ejecución del experimento.

Dado que la fase experimental abarca diferentes aspectos, se detallarán de forma separada y siguiendo la cronología de cada uno de ellos.

### 5.2.1.- Estudio de los “tags”.

Para el estudio de las prolongaciones de resina que penetran en el interior de los túbulos dentinarios durante el proceso de adhesión, se utilizaron 8 terceros molares recién extraídos, que fueron divididos en 4 grupos;

**Grupo 1:** La dentina fue irradiada con láser de Er,Cr:YSGG a 1,7mm de distancia, a 1,5W, 20 Hz. con spray de aire 30% y agua 30% a una densidad de potencia de  $300\text{W}/\text{cm}^2$  (fluence;  $14,92\text{ J}/\text{cm}^2$ , spot; 0,8 mm de diámetro y 75 mJ de energía por pulso). Se utilizó ácido ortofosfórico antes de la aplicación del sistema adhesivo.

**Grupo 2:** La dentina fue irradiada con láser de Er,Cr:YSGG a 1,7mm de distancia, a 1,5W, 20 Hz. con spray de aire 30% y agua 30% (fluence;  $14,92\text{ J}/\text{cm}^2$ , spot; 0,8 mm de diámetro y 75 mJ de energía por pulso). No se utilizó ácido ortofosfórico antes de la aplicación del sistema adhesivo.

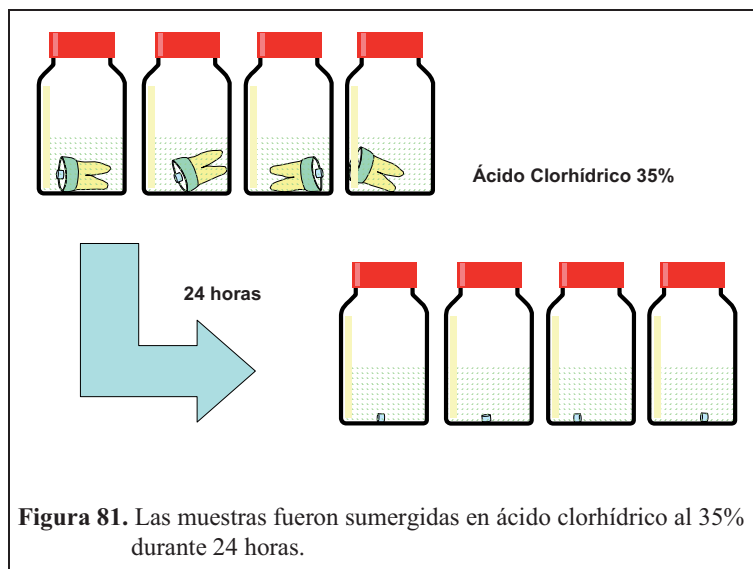
**Grupo 3:** La dentina no fue irradiada con láser. Se utilizó ácido ortofosfórico antes de la aplicación del sistema adhesivo.

**Grupo 4:** La dentina no fue irradiada con láser. No se utilizó ácido ortofosfórico antes de la aplicación del sistema adhesivo.

Todos los dientes utilizados fueron tratados de la forma descrita anteriormente en el capítulo de materiales, sin incluirlos en los cubiletes con yeso piedra. Todos ellos fueron lijados previamente a la aplicación, o no, del láser, para obtener barrillo dentinario.

Tras la aplicación del sistema adhesivo Gluma Comfort Bond + Desensitizer (Heareus Kulzer GmbH, Hanau, Alemania) se utilizaron todos los materiales, descritos con anterioridad, del mismo fabricante (Heareus Kulzer GmbH, Hanau, Alemania), respetando todos los pasos y tiempos aconsejados.

Una vez preparadas las muestras, se colocaron en recipientes con una solución



de ácido clorhídrico al 35% PRS Panreac (Panreac Química S.A., Barcelona, España) durante 24 horas (Figura 81). De esta forma se consigue eliminar toda la materia orgánica del diente, permaneciendo exclusivamente la resina, que no se ve alterada por dicho ácido.

Posteriormente cada una de las muestras fue lavada y secada para su posterior estudio con Microscopía Electrónica de Barrido. Así podían evaluarse las penetraciones de la resina en el interior de la dentina.

#### 5.2.2.- Estudio de las fuerzas de resistencia a la cizalla.

Para el estudio de la fuerza necesaria para romper la unión entre el material de obturación y la dentina aplicando fuerzas de cizallamiento, se prepararon 150 muestras que fueron repartidas de forma totalmente aleatoria en 5 grupos de 30 especímenes cada uno.

##### 5.2.2.1.- Cálculo del número de muestras.

El número de elementos que debían constituir cada grupo de estudio se calculó a partir de los resultados de otros trabajos publicados que tienen un diseño parecido al nuestro.

Para dicho fin se utilizó el programa PC-SIZE Versión 2.13, programa de difusión gratuita, específico para la determinación del tamaño de muestras (A Program for Sample Size Determinations Ver. 2.13, G. E. Dallal, Andover, EE.UU.) tomando

como referencia los datos publicados en los trabajos de De Munck y cols.<sup>99</sup>, Donadio-Moura y cols.<sup>157</sup> y Lin y cols.<sup>151</sup>

A partir de los diferentes estudios nombrados se obtuvieron resultados de número de muestra distintos. Cuando se introducían los valores de las medias de adhesión de los grupos más significativos de dichos trabajos, el número de muestras necesarias parecía ser más reducido. El máximo número de muestras calculado entre todos ellos fue de 24. Teniendo en cuenta que el volumen muestral aumentaba cuando no existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio, se optó por utilizar 30 muestras por cada grupo en el presente estudio.

#### 5.2.2.2.- Grupos de estudio.

Las 150 muestras se repartieron aleatoriamente en 5 grupos de 30 muestras cada uno, en los cuales se aplicaron diferentes estrategias con el fin de comparar el efecto sobre las fuerzas de adhesión del láser a alta densidad de energía por pulso con el láser a baja densidad de energía por pulso, ambos con y sin grabado ácido, y todos ellos comparados con el procedimiento habitual sin láser.
















De esta forma los cinco grupos constituidos poseían únicamente una de las posibles combinaciones. Inicialmente se incluyó un sexto grupo, como control negativo, que consistía en la no utilización del láser ni del ácido ortofosfórico, pero no se describe dentro de la metodología ya que en la mayoría de las muestras preparadas, el bloque de resina se desprendió espontáneamente de la superficie de dentina, antes de la medición de la fuerza de adhesión.



En la figura 82 se resumen las diferentes estrategias en cada uno de los grupos, combinando alta y baja densidad de energía por pulso y empleo o no de ácido ortofosfórico previo a la aplicación del sistema adhesivo, de forma que el único grupo que no recibió la irradiación del láser fue el Grupo 1.

Los Grupos 2 y 4 se acondicionaron a baja densidad de energía por pulso, si bien sólo recibió ácido ortofosfórico el Grupo 2.

Los Grupos 3 y 5 fueron irradiados a alta densidad de energía por pulso, siendo el Grupo 5 el que no fue acondicionado posteriormente con ácido ortofosfórico.

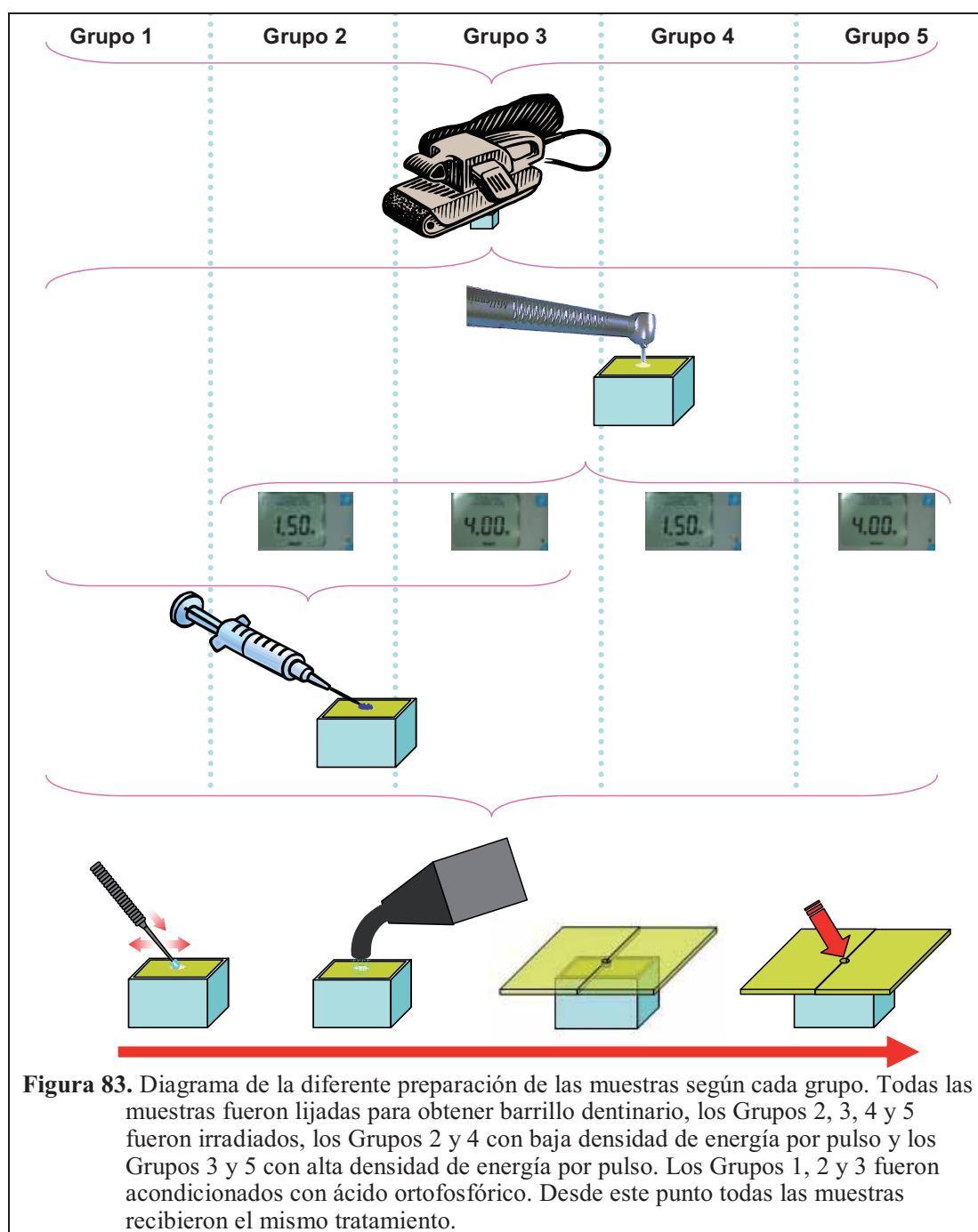
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Irradiación de las muestras					
	30 muestras	30 muestras	30 muestras	30 muestras	30 muestras
Acondicionado con ácido ortofosfórico					
Aplicación activa del sistema adhesivo					

**Figura 82.** Grupos de estudio, con 30 muestras por grupo.

Los grupos de estudio fueron los siguientes:

- **Grupo 1:** Constituido por 30 muestras que tras ser lijadas se les aplicó ácido ortofosfórico, sistema adhesivo y resina.
- **Grupo 2:** Constituido por 30 muestras que tras ser lijadas fueron irradiadas con láser de Er,Cr:YSGG a  $13,5 \text{ J/cm}^2$  (densidad de energía por pulso) y se les aplicó ácido ortofosfórico, sistema adhesivo y resina.
- **Grupo 3:** Constituido por 30 muestras que tras ser lijadas fueron irradiadas con láser de Er,Cr:YSGG a  $36 \text{ J/cm}^2$  (densidad de energía por pulso) y se les aplicó ácido ortofosfórico, sistema adhesivo y resina.
- **Grupo 4:** Constituido por 30 muestras que tras ser lijadas fueron irradiadas con láser de Er,Cr:YSGG a  $13,5 \text{ J/cm}^2$  (densidad de energía por pulso) y sin aplicar ácido ortofosfórico, se utilizó sistema adhesivo y resina.
- **Grupo 5:** Constituido por 30 muestras que tras ser lijadas fueron irradiadas con láser de Er,Cr:YSGG a  $36 \text{ J/cm}^2$  (densidad de energía por pulso) y sin aplicar ácido ortofosfórico, se utilizó sistema adhesivo y resina.

Las diferencias más importantes en la preparación de cada grupo quedan reflejadas en la figura 82, pero a modo de ejemplo más esclarecedor todas ellas están resumidas en el diagrama de flujo mostrado en la figura 83, donde a modo de resumen podemos apreciar de forma gráfica las principales diferencias entre grupos.



### 5.2.2.3.- Confección de los cilindros de resina.

Con la finalidad de obtener cilindros de material compuesto adheridos a la superficie tratada según los criterios establecidos para cada grupo, se tomaron los

especímenes preparados, tal como se ha comentado anteriormente, que permanecían en un baño de agua destilada a 5° C (Figura 84).



Todos los especímenes previamente a la aplicación de los diferentes procesos, fueron lijados, durante aproximadamente 30 segundos, con una lijadora provista con papel de lija de grano ultrafino, para la obtención de barrillo dentinario, a la vez que se regularizaba la superficie de la dentina (Figura 85).



A continuación se lavó la superficie lijada con un chorro de spray de aire y agua durante aproximadamente medio minuto, tal como muestra la figura 86.



En la figura 87 podemos ver el espécimen listo para iniciar el procedimiento requerido según su grupo de pertenencia. En la figura 88 podemos ver la homogeneidad de la dentina lijada.



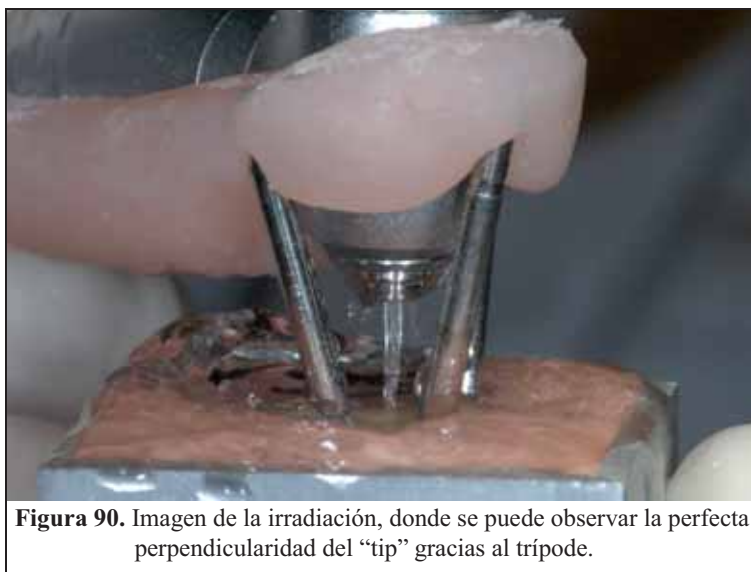


**Figura 88.** Detalle de la dentina donde se preparará la muestra .

En los especímenes que de forma aleatoria integraron el Grupo 1, al no tener que ser irradiados, se inició la aplicación de los diferentes pasos del sistema adhesivo justo en este momento. Por el contrario, todos los demás especímenes fueron irradiados con el láser de Er,Cr:YSGG con las densidades de energía por pulso y cantidades de spray descritas para cada grupo. Se utilizó el minitripode para mantener la distancia focal, tal como puede apreciarse en las figuras 89 y 90.



**Figura 89.** Irradiación del espécimen a distancia focal.



Todos los especímenes que fueron irradiados recibieron la misma cantidad de energía. Para ello se cronometró el tiempo de irradiación de cada uno de ellos, 80 segundos para los Grupos 2 y 4, y 30 segundos en los Grupos 3 y 5. Durante la irradiación el operador movió la pieza de mano de forma constante, para intentar distribuir uniformemente la energía en una superficie circular de aproximadamente 5mm de diámetro (20mm<sup>2</sup>).

En los Grupos 2 y 4 se trabajó con una potencia real de 1,35W o lo que es lo mismo 1,35 J/seg. Al irradiar durante 80 segundos la energía total liberada fue de 108 J, la misma cantidad de energía administrada a cada uno de los especímenes de los Grupos 3 y 5, en los cuales se trabajó a una potencia real de 3,6W, es decir a 3,6 J/seg durante 30 segundos. Efectuando los cálculos pertinentes, podemos deducir que cada mm<sup>2</sup> de dentina irradiada recibió 5,4J, independientemente del Grupo al que perteneciera (2-5).

Los 90 especímenes correspondientes a los Grupos 1, 2 y 3, fueron sometidos a grabado con ácido ortofosfórico al 20%, tal como recomienda el fabricante, durante 20

segundos, tras los cuales fueron lavados con chorro de agua durante 2 segundos, y secado suave durante 1 segundo, procurando que la superficie de la dentina quedara húmeda (Figura 91).

El fabricante del sistema adhesivo recomienda, al igual que ocurre con otros sistemas adhesivos, que no se deseque la dentina en exceso, e incluso aconseja reincorporar agua con una bolita de algodón si se viera que la dentina pierde el brillo característico que le proporciona la humedad. Por ello el tiempo de secado es breve, y se limita exclusivamente a eliminar el exceso de agua que pueda permanecer sobre la superficie dentinal tras el lavado del ácido ortofosfórico.

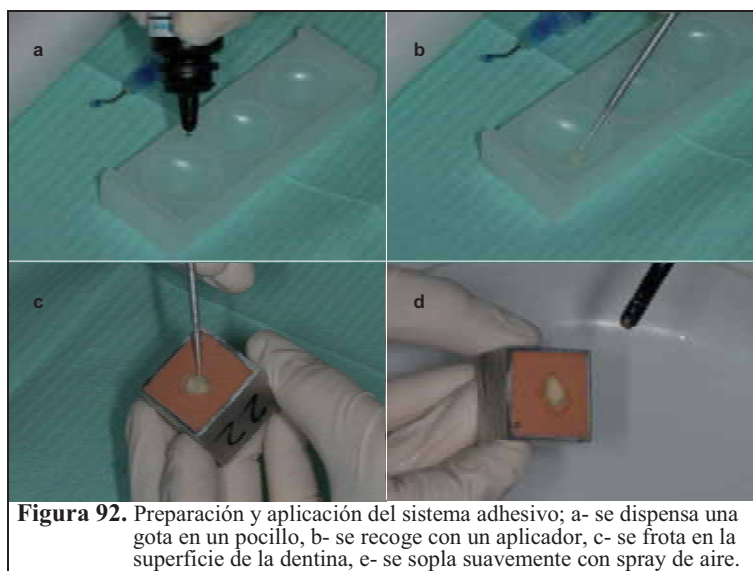


**Figura 91.** Preparación de las muestras; a- ácido ortofosfórico, b- aplicación sobre la dentina, c y d- lavado con spray de aire y agua.

Seguidamente, después del grabado ácido en los Grupos 1, 2 y 3, y de la irradiación en los Grupos 4 y 5, se utilizó el sistema adhesivo en todos los especímenes, aplicando el preparado durante 15 segundos de forma activa, es decir, frotando la superficie con el aplicador, tal como se puede apreciar en la figura 92. Inmediatamente después se administró un chorro de aire durante 2 a 5 segundos, para evaporar el

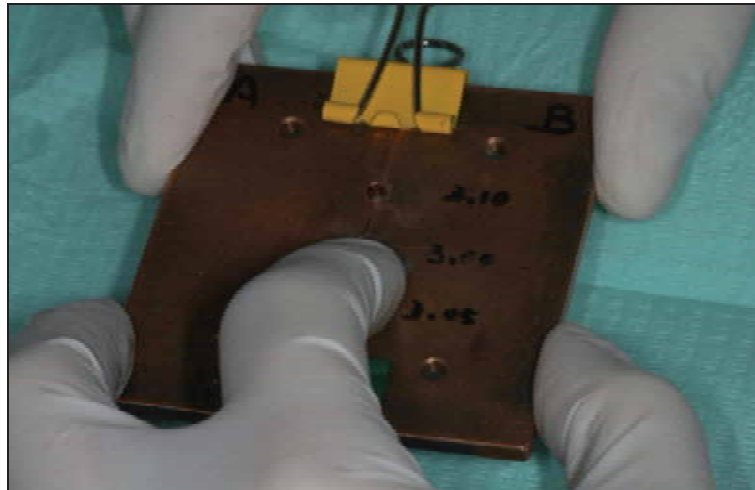


disolvente. Antes de fotopolimerizar el adhesivo comprobamos que la superficie preparada presentara un brillo uniforme. Si no era así repetíamos este paso. El tiempo de aplicación de la lámpara de polimerización fue de 20 segundos (Figura 93).

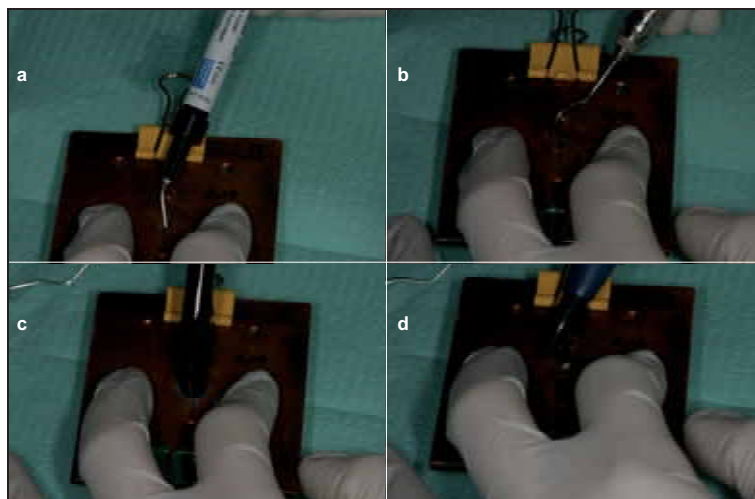


El siguiente paso fue colocar la matriz de cobre sobre el espécimen de forma que coincidiera el agujero de la matriz con la zona de dentina preparada, tal como se muestra en la figura 94.

Este paso, debido a la dificultad de hacer coincidir el agujero con la dentina preparada, resultó crítico, teniendo que desechar un buen número de muestras por no haber conseguido dicha coincidencia con la perfección requerida.



**Figura 94.** Colocación de la matriz de cobre sobre el espécimen.



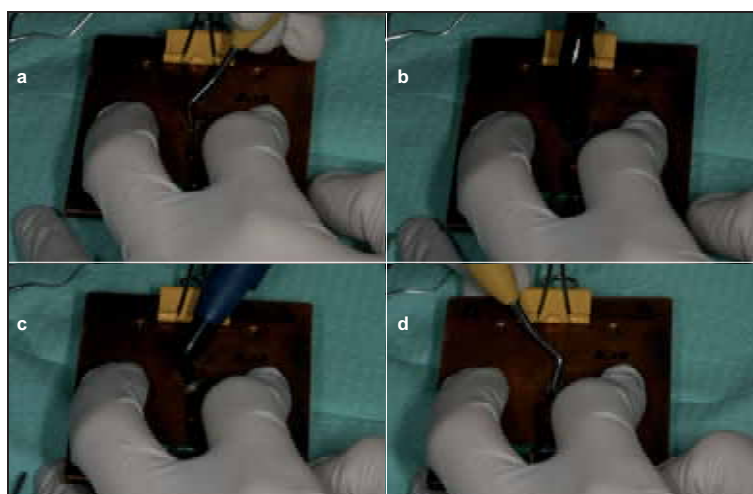
**Figura 95.** Aplicación del material de obturación; a- se dispensa una pequeña cantidad de resina fluida, b- se distribuye uniformemente con la ayuda de un explorador, c- se fotopolimeriza, d- se aplica una pequeña cantidad de composite

El siguiente paso era introducir una mínima capa de resina fluida a través del agujero de la matriz de cobre sobre la dentina preparada tal como se aprecia en la figura

95a. El fabricante aconseja que la capa sea inferior a los 2mm, si bien en nuestro caso el grosor fue inferior a 1mm en todas las muestras.

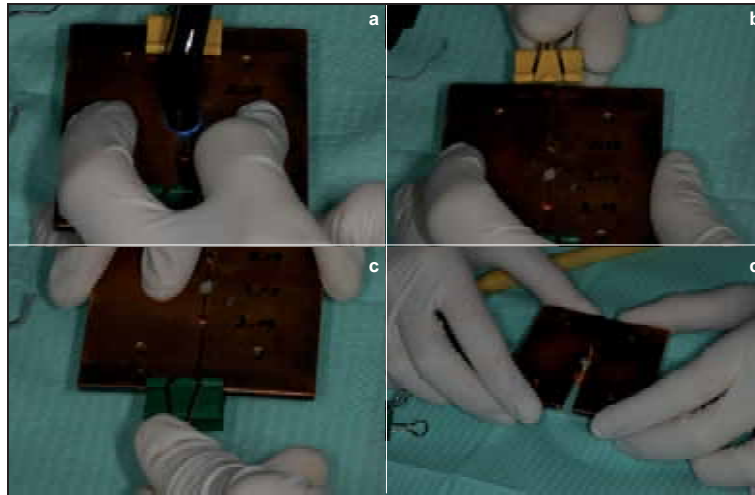
Con la ayuda de un explorador se distribuyó uniformemente la resina fluida (Figura 95b), para fotopolimerizarla durante 20 segundos (Figura 95c).

Inmediatamente después de fotopolimerizar la resina fluida, se añadió una pequeña capa, de aproximadamente 1 a 1,5mm de composite, tal como se muestra en la figura 95d, para consecutivamente condensarlo sobre el suelo de la cavidad de la matriz con la ayuda de un atacador (Figura 96a). En todas las muestras se usó el mismo color del material, un A3 de la guía del fabricante. A continuación se procedió a la aplicación de la lámpara de fotopolimerización durante 40 segundos (Figura 96b). Se repitieron los pasos de añadido de composite, atacado y fotopolimerizado, hasta alcanzar la altura predeterminada por la matriz (Figuras 96c, 96d, y 97a).



**Figura 96.** Aplicación del material de obturación; a- se condensa con la ayuda de un atacador, b- se fotopolimeriza, c- se aplica una nueva capa de composite, d- se condensa sobre la capa anterior.

Una vez construido el cilindro de composite, se procedió a retirar la matriz de cobre, liberando ambas mitades (Figura 97b y c), y desplazando lateralmente cada una de ellas, para evitar interferir sobre la zona de unión (Figura 97d). Con la matriz retirada se efectuó una aplicación de 40 segundos con la lámpara de polimerizar.



**Figura 97.** Aplicación del material de obturación; a- se fotopolimeriza, b y c- se liberan las dos mitades de la matriz de cobre, d- se retira la matriz.



**Figura 98.** Final de la preparación de la muestra.

Con ello se finalizaba la elaboración de la muestra (Figura 98), obteniendo así el cilindro de 3mm de diámetro, perpendicular a la superficie de la dentina (Figura 99).



Figura 99. Detalle del cilindro de resina.

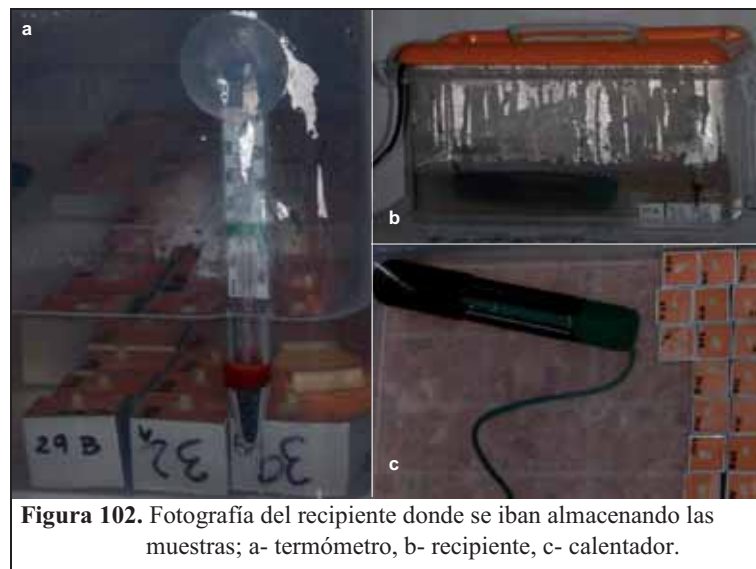
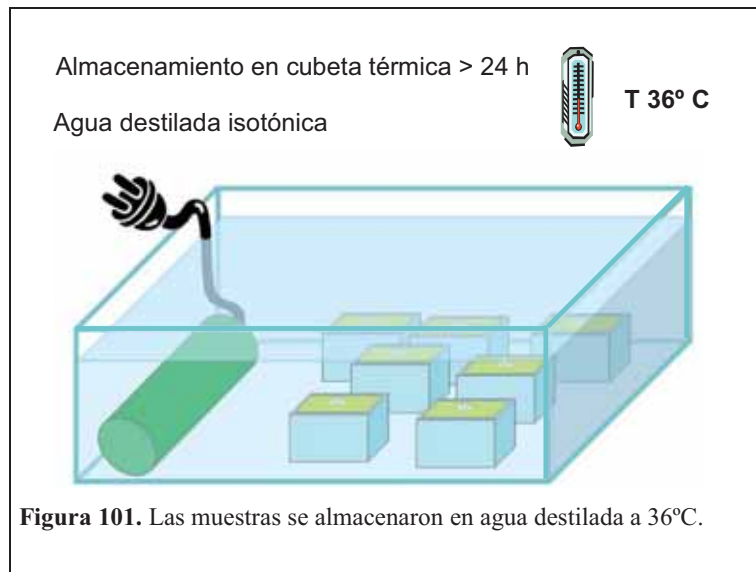
Las muestras se prepararon tomando los especimenes de forma totalmente aleatoria, y el procedimiento que se siguió en cada uno de ellos fue rigurosamente anotado, tal como se puede ver en la figura 100.

Muestra nº	Láser: W	% Aire	% Agua	Grabado Ácido
26 B 61	—	—	—	SI
72 B 61	—	—	—	SI
28 A 65	5i 4w	50%	50%	—
16 B 65	4w	50%	50%	—
30 A 65	4w	50%	50%	—
47 B 65	4w	50%	50%	—
44 B 65	4w	50%	50%	—
19 B 61	—	—	—	SI
6 B 65	4w	50%	50%	—
1 B 65	4w	50%	50%	—
B 65	4w	50%	50%	—
A 64	1,5 w	30%	30%	—
1 A 64	1,5 w	30%	30%	—
A 64	1,5 W	30%	30%	SI

Figura 100. Anotaciones de la preparación de cada una de las muestras.

#### 5.2.2.4.- Conservación de las muestras.

A continuación las muestras se conservaron en agua destilada a 36°C. Para dicho propósito se preparó un recipiente donde se introdujo un calentador tal como muestra el esquema de la figura 101.



El calentador que se utilizó (Figura 102c) lleva incorporado un termostato, el cual fue ajustado previamente para que pudiera mantener la temperatura de 36° C, tal

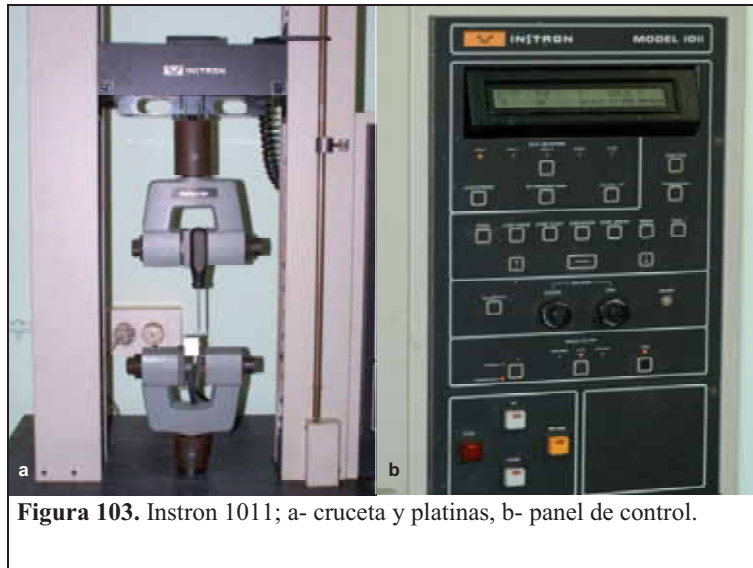
como puede apreciarse en la figura 102a. Las muestras fueron conservadas en el interior de dicha cubeta térmica (Figura 102b) un mínimo de 48 horas, antes de ser evaluada la fuerza de resistencia.

#### 5.2.2.5.- Medición de las fuerzas de resistencia a la cizalla.

Para la medición de la fuerza necesaria para romper cada una de las muestras, aplicando una fuerza de cizalla, se utilizó un dispositivo especial, la Instron (universal testing machine) modelo 1011 (Instron Corp., Canton, EE.UU.) perteneciente al laboratorio de Materiales Dentales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Barcelona, dirigido por el Prof. Dr. Ángel Espías, y con la colaboración de Luí M<sup>a</sup> Planas.

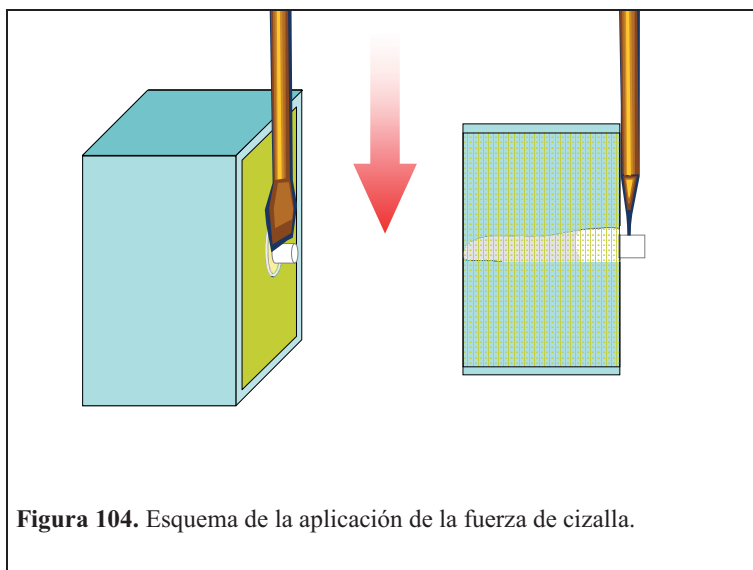
La Instron es el aparato de medición de fuerzas más utilizado en este tipo de experimentos. Está constituida, entre otros elementos, por dos platinas separadas, una fija, la inferior de la figura 103a, y otra móvil, la superior de la misma figura. La platina móvil posee una velocidad ajustable, tanto en una dirección como en la contraria. Dado que, tal como describimos en la introducción, la velocidad de la cruceta debería estar cercana al medio milímetro por minuto, se ajustó la mínima velocidad que permite esta unidad: 1mm/min.

Todos los parámetros relativos a las características físicas de la muestra, tales como diámetro, tipo de test, velocidad, así como el calibrado y otras tareas propias de la Instron, se regulan por el panel de control que se puede ver en la figura 103b.



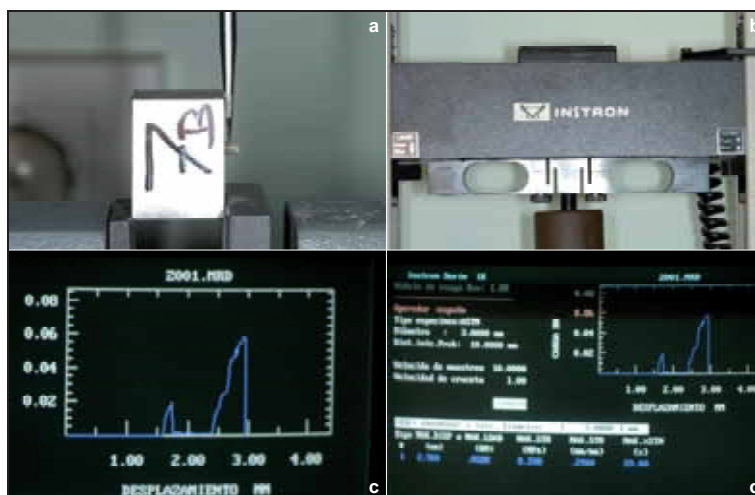
La Instron está conectada a un ordenador personal, el cual lleva instalado un software específico para la recogida de los datos referentes a cada una de las muestras del experimento.

Todas las muestras de este experimento fueron procesadas de la misma forma, tal como se puede ver en el esquema de la figura 104.



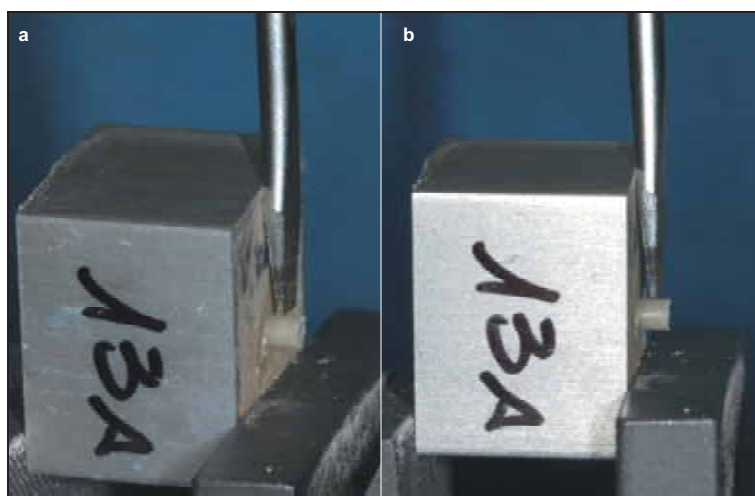


Las muestras se procesaron en la Instron de forma totalmente aleatoria, de tal forma que el operador no conociera el grupo al que pertenecían. Todas ellas fueron colocadas en la platina de la misma manera (Figuras 105a y 106), y a todas ellas se les aplicaron los mismos parámetros de medición.



**Figura 105.** Medición de la fuerza de resistencia a la cizalla; a- muestra antes de la rotura, b- célula de carga, c- registro de la rotura, d- monitor del ordenador de control.

La célula de carga utilizada en todo el experimento fue la de 500 Newton (Figura 105b).



**Figura 106.** Medición de la fuerza de cizalla; a- la cruceta avanza a 1mm por minuto, b- cuando contacta con la muestra se inicia el registro de la resistencia a la ruptura.

Una vez colocada la muestra en la platina, se iniciaba el registro de las fuerzas de resistencia. Tras llegar al máximo de resistencia, el cilindro de resina se rompía y separaba del espécimen (Figuras 105 y 106), dando por concluida la medición para aquella muestra.

La fuerza necesaria para romper la muestra quedaba registrada en el ordenador, a la vez que mostraba la gráfica del desplazamiento y fuerza necesaria para conseguirlo, tal como se puede apreciar en las figuras 105c y d.

El software de la Instron, genera tres archivos de datos para cada una de las muestras. De todos los datos recogidos el que mayor importancia tiene para nuestro estudio es el de la fuerza alcanzada en el momento de la ruptura.

La medición se efectúa en MPa (MegaPascal). El Pascal (Pa) es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades, y se define como la presión que ejerce una fuerza de un Newton sobre una superficie de un metro cuadrado. Así pues:

$$1 \text{ Pascal (Pa)} = 1\text{N} / \text{m}^2$$

#### 5.2.2.6.- Pruebas estadísticas.

Los datos del estudio de resistencia a la fuerza de cizalla se introdujeron en una hoja de cálculo Excel (Excel XP for Windows) y se analizaron con el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS versión 12.0, SPSS Inc., Chicago, EE.UU.).

Se hizo una prueba de análisis de variancia<sup>58</sup> de una vía para detectar diferencias entre los 5 grupos. Para detectar las diferencias entre grupos se aplicaron contrastes, empleando el contraste LSD (Least Square Differences).

Se crearon 2 variables dicotómicas. Una de ellas indicaba si la densidad de potencia del láser era alta o baja (variable power) y la otra si había grabado o no (variable etch).

Se hizo un ANOVA de dos vías para detectar las diferencias en las muestras tratadas con láser en cuanto al grabado y a la densidad de potencia. Los dos factores grabado y densidad de potencia se consideraron factores fijos en el modelo ANOVA.

Se consideró que la diferencia era estadísticamente significativa cuando el valor de p era inferior a 0,05 ( $p < 0,05$ ).

### 5.2.3.- Estudio del patrón de fractura.

En base a diferentes artículos publicados, en los cuales se estudia cual ha sido el punto por donde se ha producido la ruptura, y tomando como referencia el trabajo de Versluis y cols.<sup>182</sup> publicado en 1997, se examinaron a microscopía óptica y se fotografiaron todos y cada uno de los cilindros de composite, para evaluar si existía dentina en la zona de ruptura, si la ruptura fue debida a un fallo del adhesivo, si fue a causa del material de obturación, o si fue una combinación de estos tipos de fallos.

Para ello se conservaron todos los cilindros de forma que pudieran ser identificados, tal como puede apreciarse en la figura 108.



**Figura 108.** Todos los cilindros de resina fueron conservados para su posterior examen con el fin de determinar el modo de fallo.

En el capítulo dedicado a la revisión de la literatura sobre láser y adhesión, hemos comentado que Manhaes y cols.<sup>185</sup> utilizan una forma informática para la medición de los patrones de ruptura. En el capítulo referente a la metodología comentan que se tomaron las imágenes de la superficie de los bloques de resina mediante la

utilización de una videocámara (Digital Hyper Had, Sony, Tokio, Japón) y que dichas imágenes se procesaron con un programa informático (ImageLab 2000, Canborough, Ontario, Canadá). Dicho programa es capaz de calcular las áreas de una imagen por recuento de píxeles, basado en el color que muestran, y calcular el porcentaje de cada tipo de patrón de fractura que presentan.

Conseguimos una versión actualizada de dicho programa, el ImageLab ver. 1.01 for Windows XP (Canborough, Ontario, Canadá), con descarga gratuita en la página web ([archivospc.com/programas/archivos/ImageLab.php](http://archivospc.com/programas/archivos/ImageLab.php)). Tras instalarlo se procedió a la valoración de algunas muestras, pero no nos pareció demasiado fiable ya que los valores de brillo y contraste alteraban la interpretación informática de la superficie analizada, y estos parámetros debían ser modificados en cada imagen para poder discriminar entre los diferentes patrones de fractura.

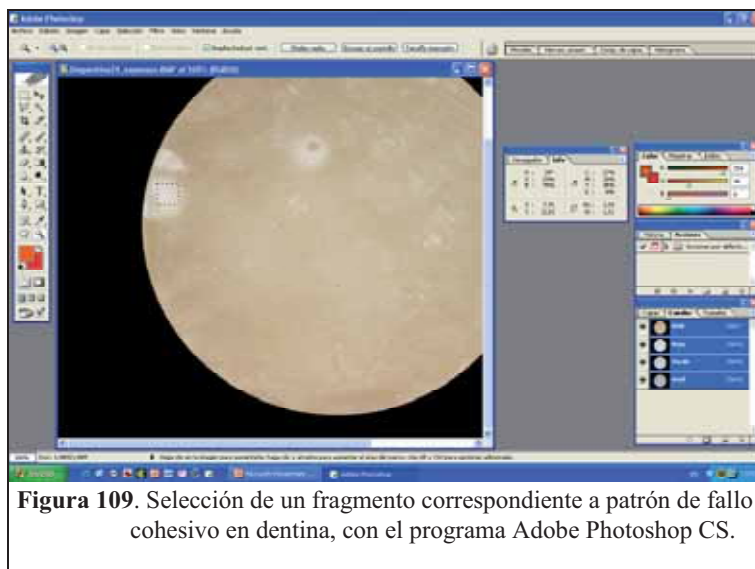
Se buscaron otros programas, concretamente los que se utilizan en estudios histomorfométricos. Para ello se consultaron artículos de otras ramas de la medicina, en los cuales deben evaluarse superficies. Uno de los programas informáticos más citados resultó ser el Scion Image (Scion Corp., Maryland, EE.UU.).

Así pues, para el cálculo del patrón de fractura se utilizó un programa informático, el Scion Image for Windows XP ver. Beta 4.03 (Scion Corp., Maryland, EE.UU.), el cual se puede descargar sin cargo de su página web ([scioncorp.com](http://scioncorp.com)). Este programa permite el cálculo de superficies a partir del análisis del color de cada píxel de una imagen digital, y conocer tanto el número de píxeles de cada color que posee la imagen, como el porcentaje de superficie que abarcan. Este programa se utiliza en

estudios histomorfométricos, ya que permite efectuar todo tipo de cálculos sobre una imagen.

Las imágenes digitales de cada bloque de resina se tomaron con una cámara fotográfica digital Nikon D-100 (Nikon Co., Osaka, Japón), con un objetivo macro el Micronikkor 105 1:2,8, con un duplicador de focal 2X y flash anular SB-21B, todo ello del mismo fabricante. Todas las imágenes se tomaron en modalidad manual, con las mismas condiciones de luz, apertura del diafragma, velocidad y distancia, y se almacenaron en archivos JPEG a la máxima resolución que permite el dispositivo (7,1 Mega Píxel).

Se redujo el tamaño de las imágenes hasta una resolución de 960 por 720 píxeles, con el fin de poder trabajar con el programa Scion Image. La conversión se efectuó por lotes con el programa ACDSee ver. 7.0 (ACD Systems, British Columbia, Canadá).



Las imágenes se procesaron de la siguiente forma: Con el programa Adobe Photoshop CS ver. 8.0.1 (Adobe Systems Incorporated, San Diego, EE.UU.) se recortaron zonas bien definidas, en cuanto al patrón de fractura que presentaban, de imágenes tomadas al azar (Figura 109). Estas muestras de los diferentes patrones de fractura se analizaron con las herramientas del mismo programa, para buscar píxeles con atributos diferenciales. Así, por ejemplo, los fallos cohesivos en dentina se mostraban con un mayor porcentaje de color blanco que los otros patrones de ruptura. Para evitar posibles distorsiones en la interpretación del color, se modificó el color de todos aquellos píxeles que no formaban parte de la imagen de la superficie a examinar, cambiándolos a un color que no pudiera aproximarse al presente en la superficie de los bloques de resina. En este caso se seleccionó el color negro.

Una vez aislado el valor de los colores más característicos para cada patrón de fractura, y teniendo en cuenta que dichos valores eran muy próximos, se ajustaron los valores de brillo y contraste que permitieran desplazar los valores de cada píxel hacia los extremos, es decir, que los colores más blancos se volvieran más blancos todavía y



**Figura 110.** Corrección de los valores de brillo y contraste con el programa ACDSee.

que los más oscuros se oscurecieran más. Para ello se efectuaron diferentes pruebas con el programa informático ACDSee hasta encontrar una combinación de brillo y contraste que cumpliera nuestro objetivo, tal como muestra la figura 110. Este programa permite trabajar con lotes de archivos, con lo cual se pudo aplicar el mismo filtro a todas las imágenes simultáneamente. Para facilitar la utilización de los archivos con el programa Scion Image, todos los archivos fueron convertidos a mapas de bits independientes (formato BMP) con una profundidad de color de 24 bits.

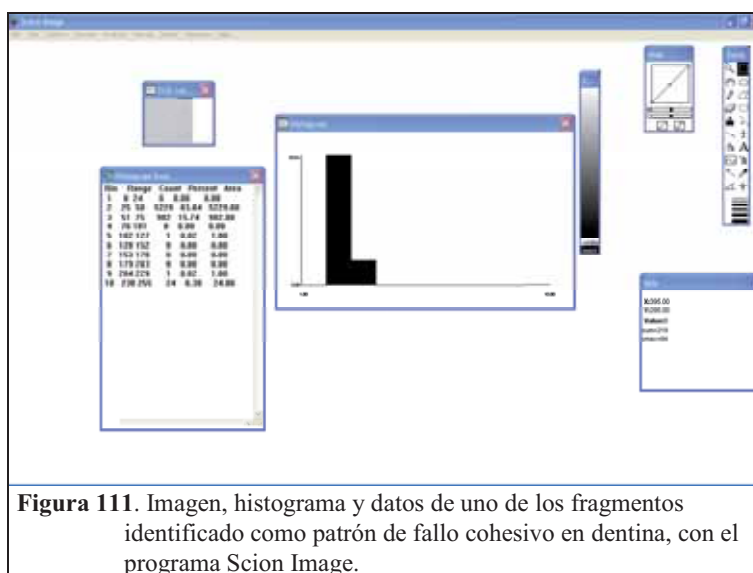
Se aplicó el mismo filtro a los fragmentos correspondientes a cada tipo de fallo, para estudiar la forma en que se podían analizar las imágenes. Estos fragmentos se procesaron con el programa Scion Image para analizar el color predominante en cada una de ellas. Las imágenes se procesaron en un único canal de su composición RGB, concretamente en el rojo, para trabajar con los 256 colores de la escala de grises. Con el histograma del mismo programa se aisló el color predominante para cada tipo de fallo, después del filtrado, y se ajustó el valor para el posterior estudio de cada una de las muestras. En el fallo cohesivo de dentina predominaba el color blanco (color 30-45) en el fallo adhesivo un color más gris (color 60-70) y en el fallo cohesivo de resina el color era algo más gris (color 80-95). Esto permitió agrupar los colores por valor de color en 10 grupos de 25 colores cada uno -hasta completar los 256 colores de la escala de grises-, y calcular el histograma de cada patrón de fractura.

A pesar que cada tipo de fallo se pudiera analizar dentro del conjunto de la imagen, existían un buen número de píxeles cuyo color podía pertenecer a cualquiera de los otros patrones de fractura. Se utilizaron los siguientes macros: “Plotting” y



“compute area percentage” y se aplicó la herramienta “plot histogram using bins”, definiendo 10 como número de grupos de colores.

El patrón fractura por fallo cohesivo en dentina mostraba una distribución de colores muy predominante en el segundo grupo de colores (color 24 al 49) si bien el color de algunos píxeles correspondía al siguiente grupo (color 50 al 74) tal como podemos apreciar en la figura 111. Según el valor del color blanco presente en los fallos cohesivos de dentina analizados, éste podía sufrir un error de hasta un 16% hacia el grupo de color más oscuro, y de un 5% hacia el más claro.



El patrón de fractura por fallo adhesivo se mostró en el tercer grupo de colores (color 50 al 74) tal como podemos ver en la figura 112. También se observó variación en los fragmentos analizados, pudiendo mostrar píxeles con valores menores o mayores que los propios de su grupo. Esta variación se calculó en un 5% en ambos sentidos.

El patrón de fractura por fallo cohesivo de resina quedó en el cuarto grupo de valores (color 75 al 99) como se puede apreciar en la figura 113. La variación del color

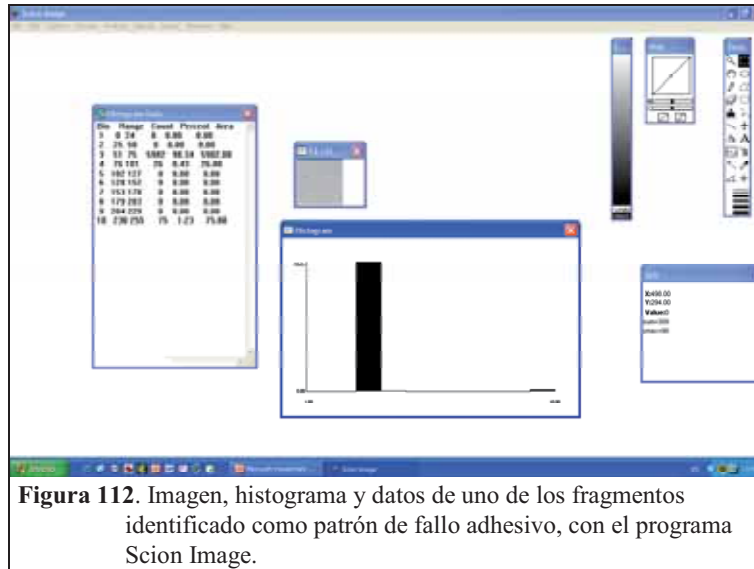


Figura 112. Imagen, histograma y datos de uno de los fragmentos identificado como patrón de fallo adhesivo, con el programa Scion Image.

en los fragmentos analizados mostró coincidencia con los colores del grupo inmediatamente más claro. La variación se calculó en un máximo del 10%.

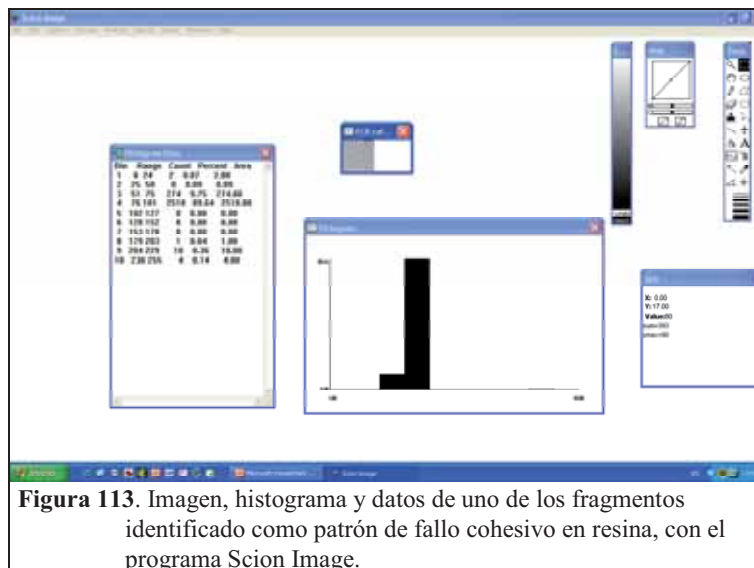
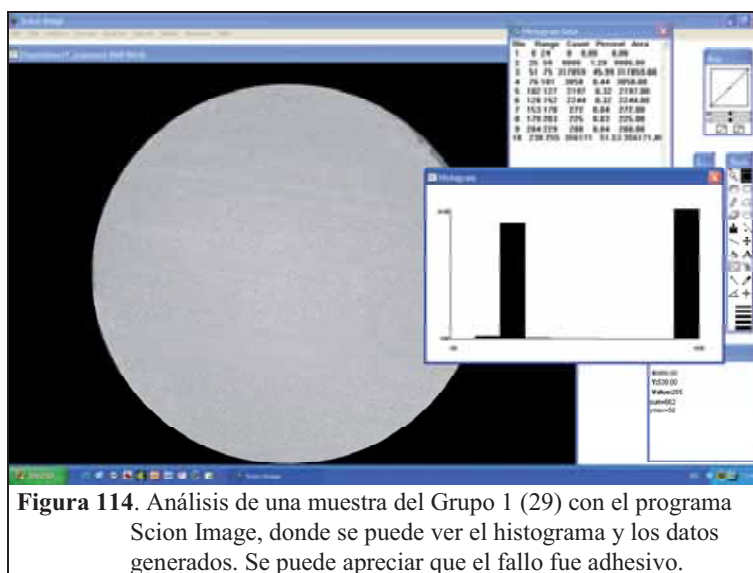


Figura 113. Imagen, histograma y datos de uno de los fragmentos identificado como patrón de fallo cohesivo en resina, con el programa Scion Image.

Los múltiples fragmentos analizados previamente a la calibración del método, fueron seleccionados por tres observadores, por separado, delimitando la porción que claramente perteneciera a algún patrón de fractura, en 2 imágenes tomadas de forma aleatoria, en cada uno de los cinco grupos de estudio. Éstos fueron considerados como estándar de oro.

Para realizar la calibración interexaminador y poder determinar la exactitud del método se tomaron imágenes al azar de los diferentes grupos, y cada una de ellas fue sometida al análisis del patrón de fractura mediante el programa Scion Image individualmente y a ciego por el examinador responsable del análisis final de cada uno de los patrones de fractura.

Los píxeles que no formaban parte del área de estudio mostraban el valor 255, correspondiente al negro, y su presencia quedaba en el décimo grupo de colores, tal



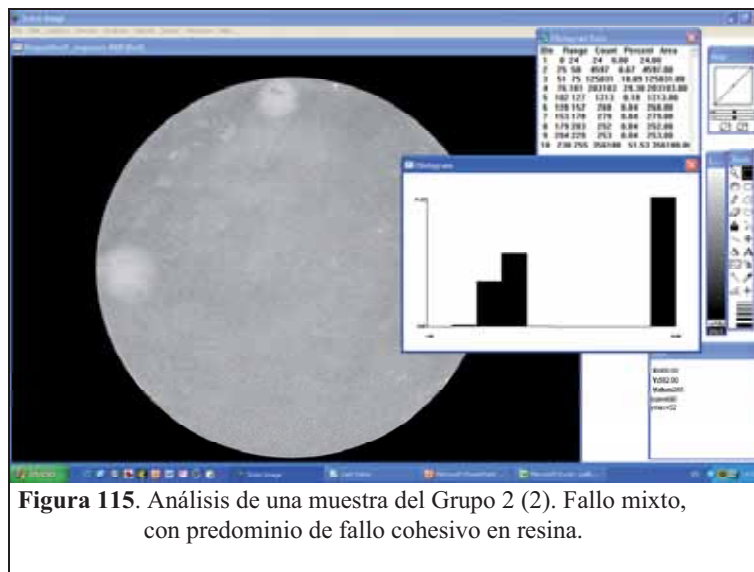
**Figura 114.** Análisis de una muestra del Grupo 1 (29) con el programa Scion Image, donde se puede ver el histograma y los datos generados. Se puede apreciar que el fallo fue adhesivo.

como se puede apreciar en las figuras 114, 115, 116, 117 y 188, relativas al análisis del patrón de fractura. Se muestra un ejemplo correspondiente a una muestra de cada grupo.

La figura 114, correspondiente a una muestra del Grupo 1, exhibe un claro patrón de fractura por fallo adhesivo, que queda reflejado en el histograma correspondiente y en el cuadro de datos que el mismo programa genera para cada uno de los análisis.

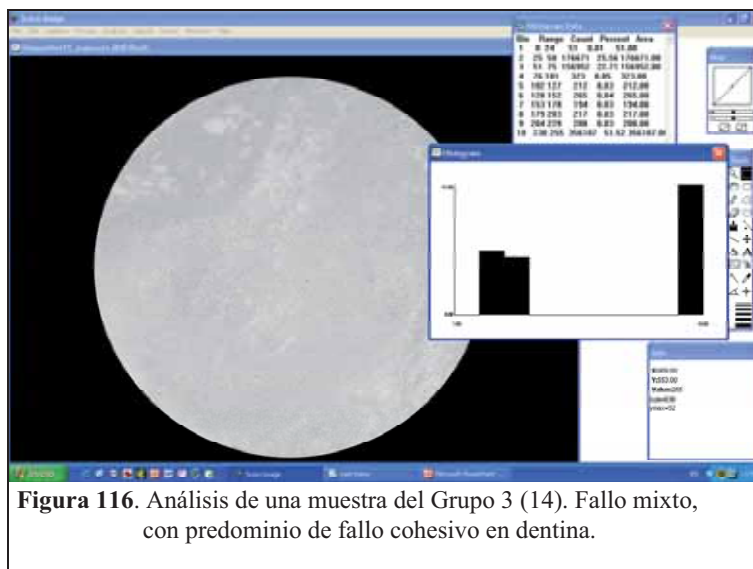
Además hay que tener en cuenta que las imágenes analizadas no son cuadradas, que hubiera sido lo ideal para poder automatizar el cálculo del porcentaje. El color negro que se añadió varió, de forma constante, los porcentajes de cada grupo de colores. Por ello no se pudo trabajar directamente con los valores porcentuales del histograma, sino que se tuvo que calcular a partir de las áreas medidas en número de píxeles.

La figura 115 pertenece a una muestra del Grupo 2, donde podemos apreciar un fallo mixto con predominio de fallo cohesivo en la resina.



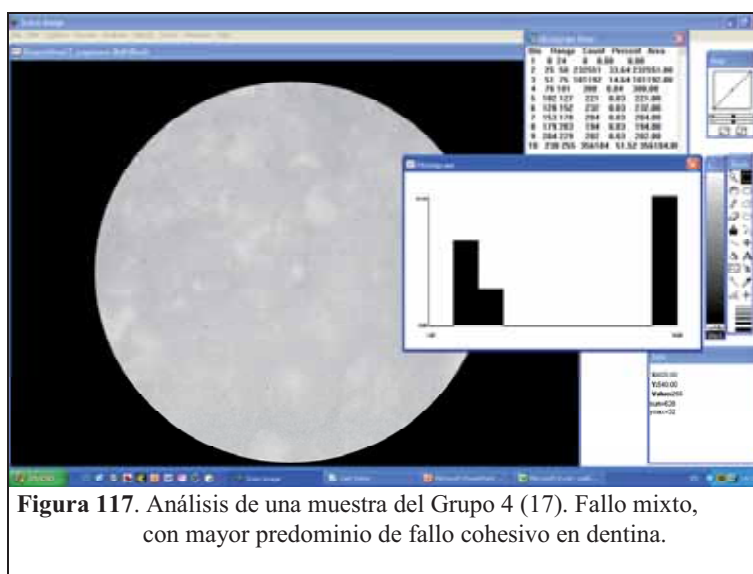
**Figura 115.** Análisis de una muestra del Grupo 2 (2). Fallo mixto, con predominio de fallo cohesivo en resina.

En la figura 116 podemos apreciar un fallo mixto con predominio de fallo cohesivo en dentina, en una muestra perteneciente al Grupo 3.



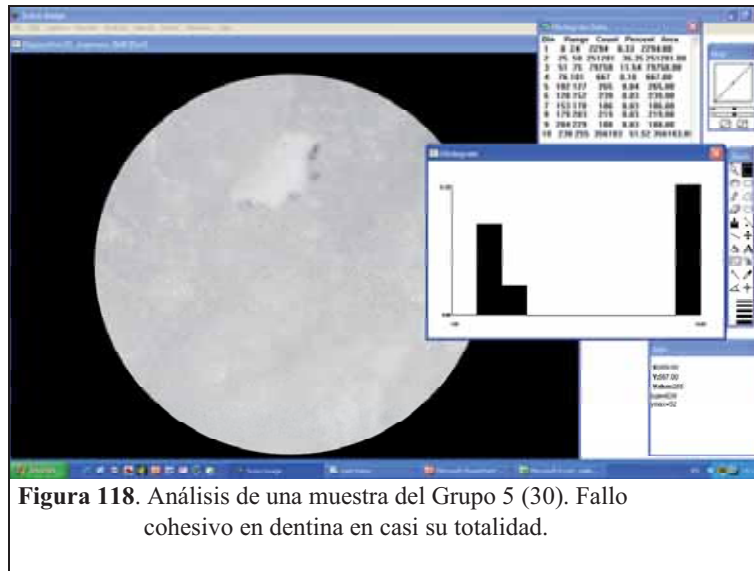
**Figura 116.** Análisis de una muestra del Grupo 3 (14). Fallo mixto, con predominio de fallo cohesivo en dentina.

La figura 117 corresponde al análisis de una muestra perteneciente al Grupo 4, donde se puede interpretar que se trata de un fallo mixto, con mayor predominio de fallo cohesivo en dentina.



**Figura 117.** Análisis de una muestra del Grupo 4 (17). Fallo mixto, con mayor predominio de fallo cohesivo en dentina.

En la figura 118 podemos ver el análisis de una muestra perteneciente al Grupo 5. Por los datos obtenidos, podemos interpretar que se trata de un fallo cohesivo en dentina en casi su totalidad.



**Figura 118.** Análisis de una muestra del Grupo 5 (30). Fallo cohesivo en dentina en casi su totalidad.

En el caso mostrado en la figura 118, hay que tener en cuenta el porcentaje de píxeles que quedan en la tercera columna (color 49 al 74) propios del patrón de ruptura por fallo cohesivo de dentina, y que tal como hemos comentado anteriormente, puede llegar a ser de hasta un 16 %. Por ello la interpretación del análisis nos indica un fallo cohesivo en dentina en casi la totalidad de la superficie analizada.

Se analizó el patrón de fractura de la superficie de todas y cada una de las muestras por separado y se valoró en conjunto para cada grupo.

Los datos obtenidos en el histograma de cada una de las imágenes se introdujeron en una hoja de cálculo Excel (Excel XP for Windows), para calcular los porcentajes de píxeles que correspondían a cada patrón de fractura en cada grupo. Solo

se trabajó con los valores del número de píxeles de los colores correspondientes a los primeros cuatro grupos de colores (color 0 al 99).

Se aplicó un factor de corrección para compensar el margen de error calculado por el estándar de oro. Al porcentaje resultante de la superficie calculada como fallo cohesivo en dentina se le incrementó un 12 % su valor, y al porcentaje obtenido como fallo cohesivo de resina el incremento fue de un 5%. Es decir, si presentaba un 10% de fallo cohesivo en dentina, aplicando el incremento obteníamos un total de 11,2% de dicho patrón. Los incrementos aplicados para los fallos cohesivos fueron restados del porcentaje de los fallos adhesivos.

No se efectuaron cálculos estadísticos sobre los valores obtenidos, más allá de promediar los tipos de fallo por grupo de estudio, ya que simplemente el objetivo del estudio del patrón de fractura era evidenciar si se cumple la hipótesis secundaria de este trabajo, en relación a la mayor debilidad estructural de la dentina que ha sido irradiada.