

F.J. Gil¹
V. Lerouge²
J.M. Casanellas³
J.A. Planell⁴

Comportamiento mecánico de los postes de fibras de carbono usados en la reconstrucción de dientes endodonciados

- 1 Profesor Titular. Universidad Politécnica de Catalunya.
- 2 Estudiante francés becario en el proyecto final de carrera (beca Erasmus)
- 3 Profesor Asociado. Facultad de Odontología. Universidad de Barcelona.
- 4 Catedrático. CREB. Dept. de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (E.T.S.E.I.B.) Universidad Politécnica de Catalunya.

Correspondencia:

F. Javier Gil Mur
Dept. de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (E.T.S.E.I.B.) Universidad Politécnica de Catalunya Diagonal 647 08028 Barcelona

RESUMEN

En este trabajo se estudió el comportamiento mecánico de postes de fibras de carbono unidas con resina epoxi (comercialmente llamado Compositpost[®]) usado para la reconstrucción de dientes endodonciados. Los ensayos consistieron en aplicar fuerzas de flexión a estos postes, estudiando su comportamiento mecánico, como si estuvieran acoplados a la dentina. Para modelizar las fuerzas de la masticación que se producen de forma fisiológica en la boca, se aplicaron diferentes fuerzas a diferentes ángulos, respecto al eje de los postes. Las fuerzas se aplicaron con una máquina de ensayos electromecánica Instron[®] conectada a un sistema informático, con lo que se pudo determinar las fuerzas máximas que podían soportar los postes para cada ángulo. Finalmente se observó la fractura del poste, mediante microscopio electrónico de barrido, pudiéndose determinar los mecanismos de fractura de dicho material compuesto.

PALABRAS CLAVE

Poste intrarradicular; Reconstrucción de muñón; Poste de fibras de carbono; Plásticos reforzados con fibras (PRF); Restauración del diente endodonciado; Compositpost[®].

ABSTRACT

In this paper, the mechanical behaviour of carbon fiber composite (Compositpost[®]) used for endodontic teeth reconstruction has been studied. The test were carried out with flexoral stresses studying its mechanical behaviour, as if coupled with dentine. In order to simulated forces similar to the physiological environment in the mouth, different forces were applied at different angles in relation to the axis of the posts. The forces were applied with an Instron[®] mechanical testing machine coupled with a computer. We could determinate the maximal forces for each angle tested. Finally, the fracture surfaces

were observed by means of SEM in order to determinate the fracture mechanisms.

KEY WORDS

Post-and-core technique; Carbon fibre posts; Fiber reinforced plastics (FRP); Restoration of endodontically treated teeth; Composipost®.

INTRODUCCIÓN

Para la reconstrucción de los dientes endodonciados, se suelen utilizar postes metálicos porque tienen buena resistencia en cizallamiento, flexión, tracción y compresión. Pero su utilización da lugar a diferentes problemas, siendo la fractura de la raíz y el aflojamiento del poste los más importantes. Estos problemas surgen debido a la elevada diferencia de módulos de elasticidad que presentan los postes metálicos y el diente. En la tabla 1 se puede comprobar esta diferencia de módulos de elasticidad a tracción de los diferentes materiales.

Una propiedad muy interesante de los postes de fibras de carbono es que tienen menos rigidez que los postes metálicos, y por tanto provocan menos fracturas radiculares. Además, los postes metálicos pueden sufrir el fenómeno de la corrosión electroquímica, mientras que los de fibras de carbono son totalmente inertes en medio fisiológico⁽⁵⁾.

Los postes de fibras de carbono están compuestos por fibras de carbono grafito y una matriz de resina termoestable que polimerizan⁽⁶⁾ con un catalizador⁽⁷⁾; de esta forma las fibras de carbono quedan embebidas por la matriz polimérica. Estos materiales compuestos presentan buenas propiedades mecánicas, tienen buena resistencia a la abrasión, muestran un excelente comportamiento ante la corrosión, y mantienen estas propiedades a la temperatura corporal⁽⁸⁾.

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos de fibras de carbono dependerán de una serie de factores que son los siguientes: naturaleza de las

Tabla 1 Comparación entre los módulos de elasticidad de los postes metálicos y de la dentina⁽¹⁻⁴⁾

Material	E (GPa)
Acero	190
Titanio	110
Dentina	18

fibras, naturaleza del material polimérico, cantidad de fibras y de material polimérico, morfología de las fibras, orientación de las fibras respecto al eje de tensión mecánica, y finalmente adhesión entre el polímero y las fibras⁽⁹⁻¹⁴⁾. La rigidez de estos materiales puede ser modificada según la proporción y la orientación de las fibras, haciéndose muy semejante a la de los tejidos biológicos; esto es muy importante para la biomecánica del sistema, dado que cuanto más semejantes sean los módulos de elasticidad, mejor será la transferencia de carga del poste al diente. Estos postes desempeñarán diversas funciones, que son las siguientes⁽¹⁵⁻¹⁹⁾:

1. Retener el material de reconstrucción (función principal).
2. Consolidar o reforzar el diente.
3. Restaurar el diente.

El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento mecánico de un poste de fibras de carbono con resina epoxi (comercialmente llamado Composipost®) usado para la reconstrucción de dientes endodonciados. Este poste tiene la ventaja, sobre los postes metálicos, que su módulo de elasticidad es muy parecido al de la dentina. Usando este tipo de poste se puede obtener un diente reconstruido que sea capaz de resistir las fuerzas ejercidas durante la masticación y que además tenga una buena estética.

MATERIAL Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Los postes de fibras de carbono estudiados se muestran en forma esquemática en la figura 1. Para este estudio se utilizaron los postes de diámetro 1,8 mm. El diseño del poste, gracias a sus dos conos, permite

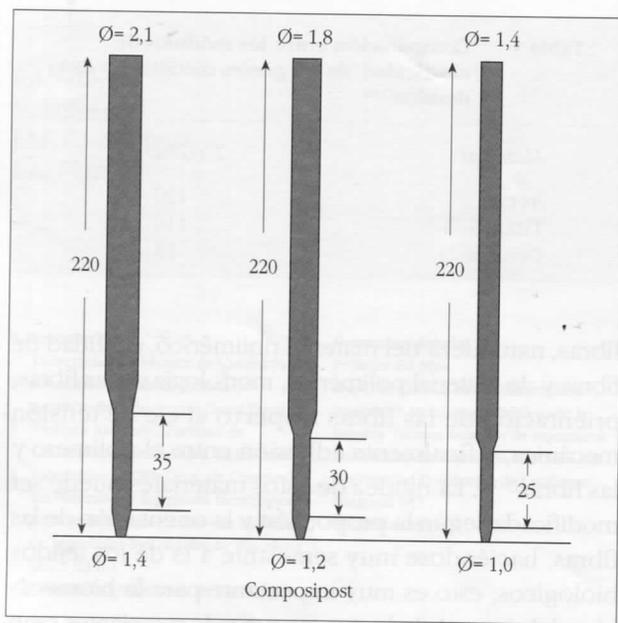


Figura 1. Postes de fibras de carbono (Composipost®). Dimensiones de los tres tamaños: diámetros, en mm.; longitudes, en décimas de mm).

una buena adaptación al diente. La composición química del poste es la siguiente: la matriz polimérica de resina epoxi representa el 36% del peso total, y las fibras de carbono el 64%. Los filamentos o fibras de carbono tienen un diámetro máximo de 8 micrómetros.

En la composición del poste también hay sulfato de bario, que le proporciona radioopacidad. Sin embargo, la incorporación de sulfato de bario tiene la desventaja de disminuir un 10% aproximadamente las buenas características mecánicas del poste.

Los ensayos consistieron en estudiar el comportamiento mecánico de los postes de fibras de carbono, como si estuvieran encajados en la dentina. La porción cónica del poste (porción inferior) fue incluida en una base. La porción que sobresalía de la base medía 8 mm de longitud, como es usual en la aplicación odontológica. Para modelizar todas las fuerzas de la masticación que se pueden dar en la boca, se aplicaron diferentes fuerzas de flexión en diferentes ángulos, respecto al eje de los postes.

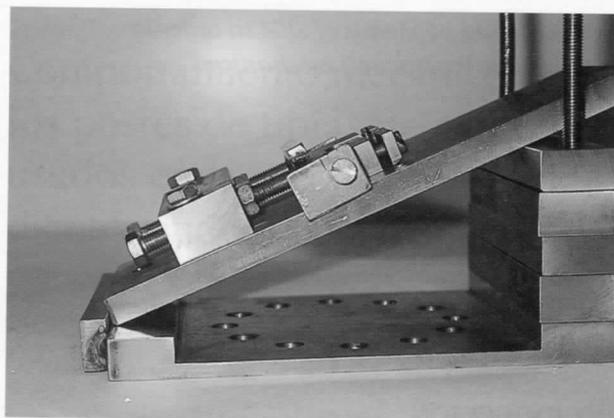


Figura 2. Mordazas de sujeción con sistema de cuñas. Gracias a este sistema se pudieron realizar ensayos cada 10°, con ángulos comprendidos entre 0° y 90°.

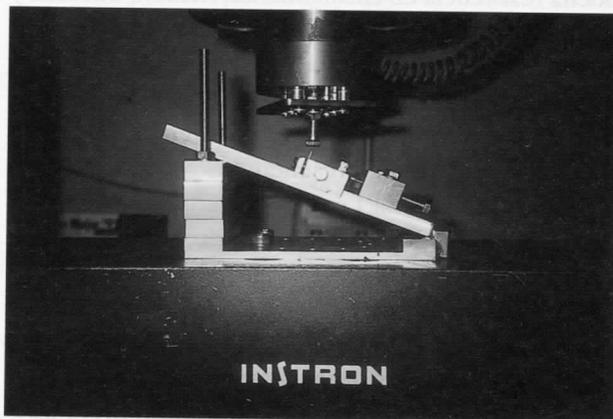


Figura 3. Realización del ensayo mecánico.

Para este estudio se mecanizó un soporte que se podía variar de geometría gracias a un sistema de cuñas. Gracias a este sistema se pudieron realizar ensayos cada 10°, con ángulos comprendidos entre 0° y 90° (Fig. 2). En la figura 3 se muestra la ejecución de un ensayo de flexión.

Los ensayos mecánicos se realizaron con una máquina electromecánica de ensayos Instron 4501, conectada a un sistema informático, utilizando una velocidad de desplazamiento de las mordazas de 1mm/min y a una velocidad de adquisición de datos de 20 puntos/segundo. De esta forma se pudieron hallar las fuer-

zas de compresión y flexión máximas que podían soportar los postes para cada ángulo. Los ensayos fueron realizados según la norma NF T 51-034 o ISO R-527. Se utilizó un software de la Serie IX para la interpretación de los datos. La primera serie de ensayos fue el estudio del comportamiento mecánico de los postes sometidos a fuerzas de tracción y compresión. Posteriormente se realizaron los ensayos de flexión desde 0° a 90° ⁽²⁰⁻²¹⁾.

A continuación, mediante microscopía electrónica de barrido, se observaron las fractografías de los postes de fibras de carbono para los diferentes ensayos realizados.

El comportamiento mecánico de los postes de fibras de carbono, se modelizó mediante el Programa Cosmos de elementos finitos utilizando un equipo de Work Station de la Helweltt Packard HP 3700. El método de los elementos finitos es una técnica numérica utilizada para aproximar la solución de las ecuaciones diferenciales que definen el estado de carga de un medio continuo llamado dominio.

Cualquier variable continua tal como la temperatura, la presión o los desplazamientos, puede ser aproximada por un método discreto compuesto por una serie de funciones continuas definidas sobre un número de subdominios, denominado elementos finitos. En cada uno de estos elementos finitos la solución se expresa aproximándola a una forma polinomial llamada «función de forma». Se consigue de esta forma aproximar la solución global del medio continuo a una combinación de las soluciones obtenidas en los elementos.

Para el análisis del comportamiento mecánico del poste mediante elementos finitos fue necesario introducir en el computador la geometría del poste de fibras de carbono y los valores de las propiedades mecánicas. El programa Cosmos nos permitió confeccionar los mapas de tensiones mecánicas, y conocer dónde se creaban las fuerzas de tracción y dónde las de compresión. De este modo pudimos predecir el punto en el que se fracturaría el poste a un ángulo determinado de la aplicación de la carga mecánica^(22,23).

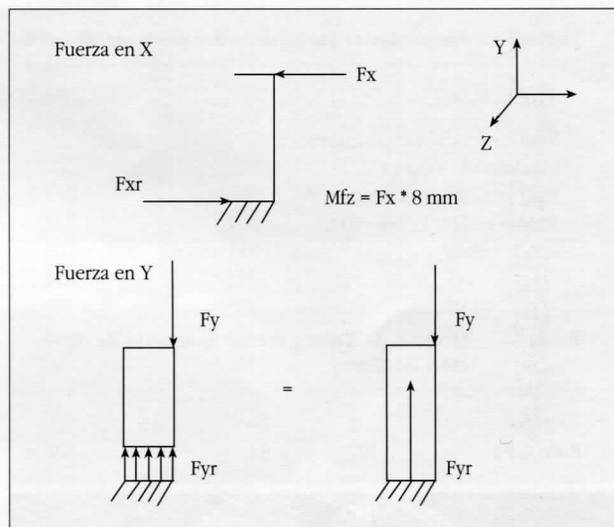


Figura 4. Descomposición de fuerzas.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

El poste intrarradicular presentaba una geometría cilíndrica de 8 mm de altura con su procién cónica encajada en su base. La descomposición por fuerzas se puede apreciar en la figura 4. La fuerza F, denominada también nominal, que aplica la máquina, está descompuesta en:

- Una fuerza en la dirección y, $F_y = F \cos \theta$ en el sentido de las fibras de carbono.
- Una fuerza en la dirección x, $F_x = F \sin \theta$, en el sentido perpendicular a las fibras de carbono, siendo θ : el ángulo de inclinación.

El momento de flexión creado es despreciable porque el brazo de la palanca es de 0,9 mm. La fuerza Fx provocará la flexión del poste, por lo que parte de las fibras estarán en compresión y las otras en tracción.

Los ensayos mecánicos de tracción, cizalladura y compresión ofrecieron los resultados de la tabla 2. En esta tabla se comparan los resultados obtenidos con los valores de la dentina. Estos ensayos corresponden a la orientación de las fibras de carbono, en el sentido del eje de tensión para la tracción y compresión. Como se puede apreciar, los resultados de tracción son muy elevados comparables a los de cualquier

Tabla 2 Propiedades mecánicas del poste de fibras de carbono

Propiedades	Poste de Fibras de carbono	Dentina
Resistencia al cizallamiento	170 MPa	—
Módulo de Young	Variable	18 GPa
Resistencia a la compresión	440 MPa	297 MPa
Resistencia a la tracción	1.600 MPa	52 MPa

Tabla 3 Módulo de Young frente al ángulo de dirección de fibras

Ángulo	0	20	45	90
E en GPa	107	34	21	9

material metálico; esto es debido a la orientación de las fibras respecto al eje de tensión. Cuando la tensión que se aplica es de 90°, como es el caso de la cizalladura, las resistencias máximas del poste de fibras de carbono se reducen casi 10 veces.

El módulo de elasticidad o de Young del material compuesto de fibras de carbono respecto al ángulo de inclinación se muestra en la tabla 3 y se representa en la figura 5. Se puede apreciar que el módulo de elasticidad disminuye, de una forma brusca, al aumentar la angulación de 0° a 20°; para ángulos mayores el descenso es más leve, llegando a ser muy parecido al de la dentina. Por tanto, cuanto mayor es la inclinación de las fibras respecto al ángulo de tensión, más se parece el módulo de elasticidad al de la dentina; por tanto se produce una mejor biomecánica y una mejor transferencia de carga del poste al diente. Sin embargo, a medida que aumentamos el ángulo, la resistencia máxima disminuye, como se verá más adelante.

En la figura 6a se observa el reparto de las fuerzas en un diente sano, en un diente reconstruido con un poste de alta rigidez y en un diente reconstruido con un poste de baja rigidez. La figura 6b corresponde a un diente reconstruido con un poste metálico o con un poste de fibras de carbono, cargado con una tensión de compresión en que, entre la línea de aplicación de la fuerza y la dirección longitudinal de las

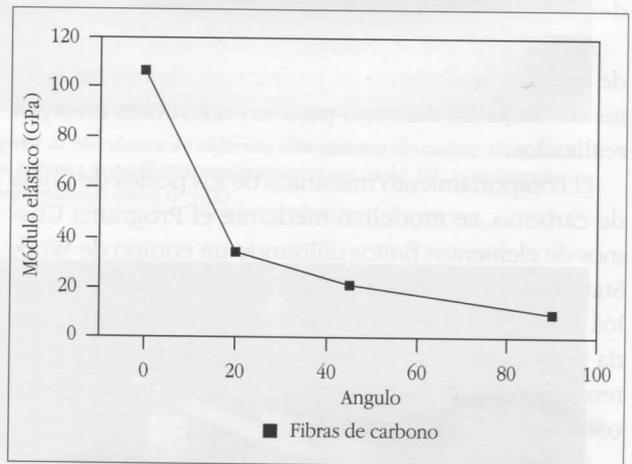


Figura 5. Módulo de elasticidad o de Young del material compuesto de fibras de carbono: se puede apreciar que el módulo de elasticidad disminuye, de una forma brusca, al aumentar la angulación de 0° a 20°.

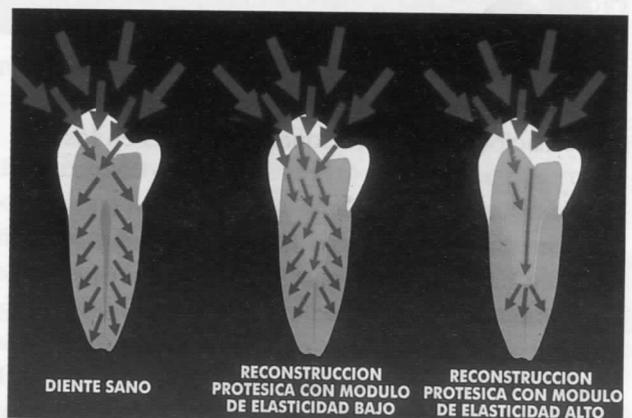


Figura 6. Según el módulo de elasticidad se pueden producir tres situaciones distintas: diente sano, reconstrucción protésica con módulo de elasticidad bajo (sin riesgo de fractura radicular), y reconstrucción protésica con módulo de elasticidad alto (con riesgo de fractura radicular).

Tabla 4 Resultados de las fuerzas y momentos de los ensayos mecánicos realizados en los diferentes ángulos de aplicación

Ángulo	Nº postes utilizados	F. máx N	F _y en N	F _x en N	Momento flexión Nmm
0	7	721	588	0	0
10	7	553	508	90	717
20	7	368	318	116	928
30	5	254	207	119	952
40	5	158	118	99	792
50	5	133	83	99	792
60	5	113	54	93	741
70	5	104	31	86	684
80	5	92	15	85	685
90	5	89	0	82	661

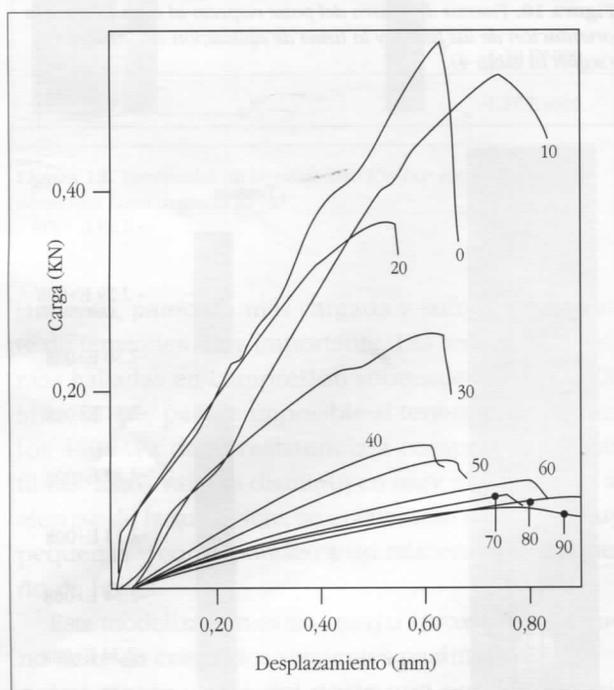


Figura 7. Curvas tensión-deformación.

fibras, se forma un ángulo de 0° hasta 20°. En cuanto a la figura 6c, representa un poste de fibras de carbono, cargado con una fuerza de compresión, en un ángulo comprendido entre 20° y 90°.

En la tabla 4, se muestran los resultados de las fuerzas y momentos de los ensayos mecánicos realiza-

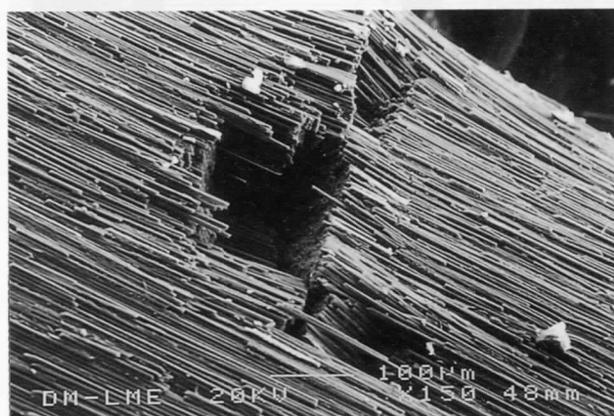


Figura 8. Microfotografía al microscopio electrónico de barrido: rotura de las fibras.

dos en los diferentes ángulos de aplicación, obtenidos a partir de las curvas tensión-deformación de la figura 7.

Es importante constatar que para los ensayos a 0°, y en menor cuantía para los ensayos a 10° y 20°, se observa un movimiento del poste a nivel del encajamiento, que se acompaña de una destrucción de las fibras, como se puede apreciar en las figuras 8 y 9 observadas mediante el microscopio electrónico de barrido. Esto explicaría la diferencia más importante que existe entre los valores para esos ángulos. Frecuentemente, para los ensayos de 0° hasta 20°, los gráficos no son tan lineales, o tan elásticos; esto se debe, en primer lugar, a lo que ya se ha descrito anterior-

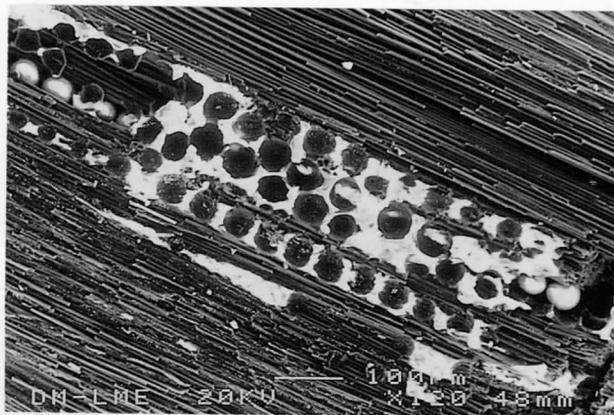


Figura 9. Microfotografía al microscopio electrónico de barrido: se observan esferas de sulfato de bario de color blanco.

mente y, en segundo lugar, a la rotura de las fibras a nivel en que se apoya la carga.

En la figura 10 se puede apreciar la fuerza de rotura respecto al ángulo entre la orientación de las fibras y el eje de carga. Se aprecia una disminución asintótica de la fuerza al ir aumentando la carga mecánica.

MODELIZACIÓN CON ELEMENTOS FINITOS

En las figuras 11, 12, 13 y 14 se muestran los resultados de la modelización por elementos finitos, obtenidos para ángulos de 0°, 30°, 60° y 90°, respectivamente; en estas figuras podemos observar los repartos de tensión en el poste de fibras de carbono, en la parte del poste que sobresale 8 mm de la dentina. La parte inferior quedaba encajada en la base (dentina). La carga está modelizada para 0° con una tensión de 231 MPa repartida sobre la cabeza del poste, y en los otros casos con dos fuerzas en X y Y, que se han hallado durante los ensayos. Para estos tres ángulos, toda la carga se encuentra en el punto superior derecho de las fibras.

Lo que obtenemos es una figura representativa de la distribución de las tensiones en el poste. Se ven de manera muy distinta las partes que están en compresión (en azul) y las que están en tracción (en rojo). Se ve también el lugar donde se produce la rotura, producto de las tensiones de compresión en la porción inferior izquierda. Esta porción a nivel del enca-

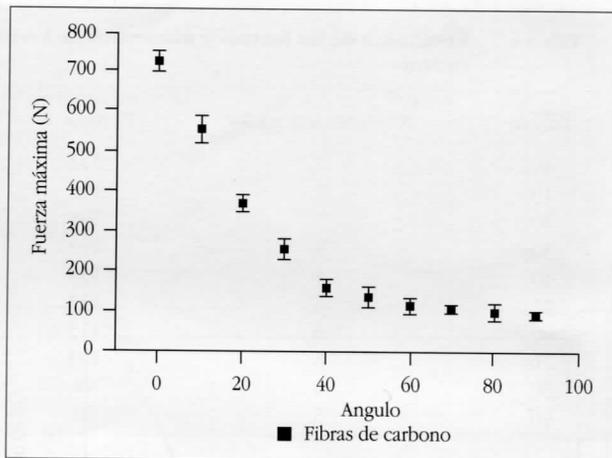


Figura 10. Fuerza de rotura del poste respecto al ángulo entre la orientación de las fibras y la línea de aplicación del esfuerzo (según la tabla 4).

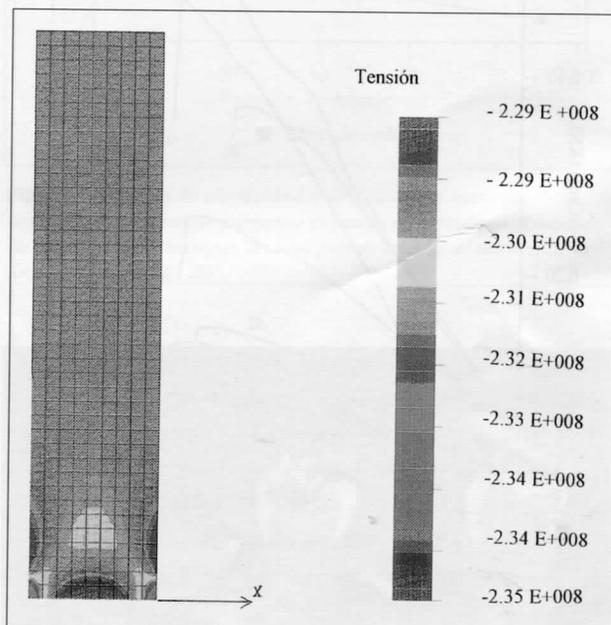


Figura 11. Resultados de la modelización por elementos finitos, obtenidos para ángulos de 0°.

sión (en azul) y las que están en tracción (en rojo). Se ve también el lugar donde se produce la rotura, producto de las tensiones de compresión en la porción inferior izquierda. Esta porción a nivel del enca-

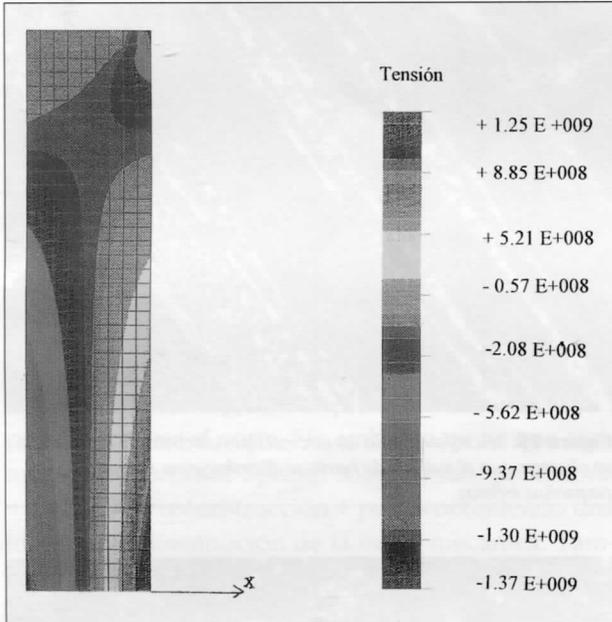


Figura 12. Resultados de la modelización por elementos finitos, obtenidos para ángulos de 30°.

jamiento, parece la más cargada y sufre un gradiente de tensiones muy importante. Las tensiones máximas halladas en compresión sobrepasan de los 1000 MPa, lo que parece imposible si tenemos en cuenta los 440 MPa de la resistencia a compresión de las fibras. Estos valores disminuyen muy rápidamente al alejarse de la superficie, se encuentran en zonas muy pequeñas y corresponden a un número muy pequeño de fibras.

Esta modelización es un ensayo aproximado ya que no tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- Los movimientos del poste que pueden ocurrir durante los ensayos.
- La carga de presión debida a los tornillos (que mantienen los postes).
- Las fibras que pueden romperse a causa de esta presión.
- La presencia del bario, que es un elemento radiopaco.

Los valores que nos proporciona el programa, serán los reales si no existieran todos estos factores seña-

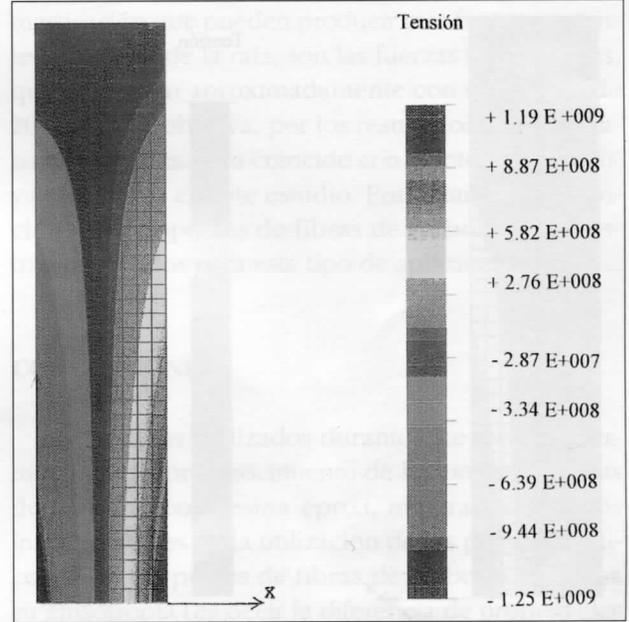


Figura 13. Resultados de la modelización por elementos finitos, obtenidos para ángulos de 60°.

lados anteriormente, por lo tanto no se pueden utilizar de forma cuantitativa, sino de forma cualitativa. Sin embargo, los resultados sí que nos dan una idea bastante detallada de la distribución de las tensiones.

La observación de los postes al microscopio electrónico de barrido, muestra que para los ensayos de 0° a 20°, hay un aplastamiento y una desunión de las fibras a nivel del punto de aplicación de la carga, en donde aparecen también fisuras. Posteriormente, a medida que aumenta la angulación, este aplastamiento va disminuyendo. A 10° aparece la rotura de las fibras que están en compresión a nivel del acoplamiento (Fig. 8). Esta rotura será visible si los postes son ensayados con un ángulo superior.

Las observaciones con el microscopio electrónico permitieron observar que el sulfato de bario se distribuía en forma de pequeñas esferas (Figs. 15 y 16), del tamaño de 30 μm a 40 μm, como puede apreciarse en la figura 16; la incorporación de bario a los postes es lo que les proporciona radioopacidad. Se puede apreciar que el componente radioopaco aparece como

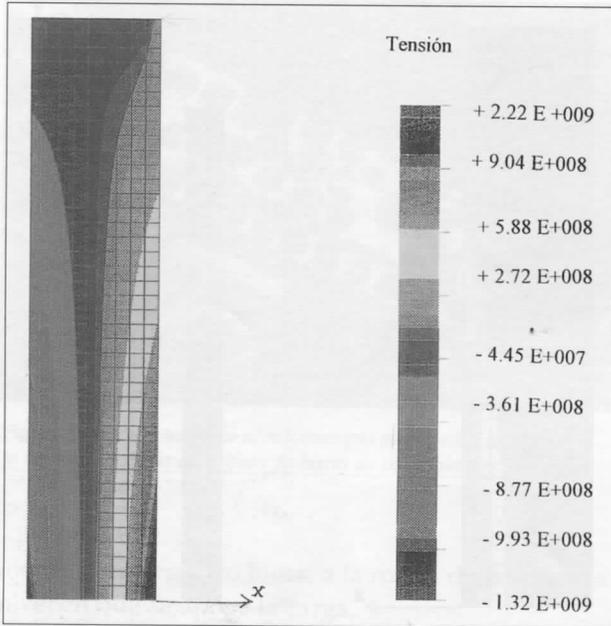


Figura 14. Resultados de la modelización por elementos finitos, obtenidos para ángulos de 90°.

líneas en el sentido de las fibras, pero el reparto de esas líneas se hace de manera aleatoria dentro del material compuesto.

DISCUSIÓN

El estudio de la variación de la fuerza F_x (fuerza proporcional al movimiento de flexión) que se observa en la tabla 4, muestra que varía poco (desde 82,6 hasta 119,5 N) con el ángulo, mientras que la componente F_y no deja de disminuir (desde 559 N hasta 0 N). Por tanto, se puede concluir que las fuerzas perpendiculares a las fibras son las responsables de la fractura del poste. Cuando se aplica la fuerza F_x , el poste flexiona, lo que implica fuerzas de compresión y tracción, siendo la resistencia a la compresión (440 MPa) menor, en comparación a la resistencia a la tracción (1600 MPa). La zona de compresión es la parte más cargada y por tanto es la que primero se deteriorará.



Figura 15. Microfotografía al microscopio electrónico de barrido: se observa que el sulfato de bario se distribuye en forma de pequeñas esferas.

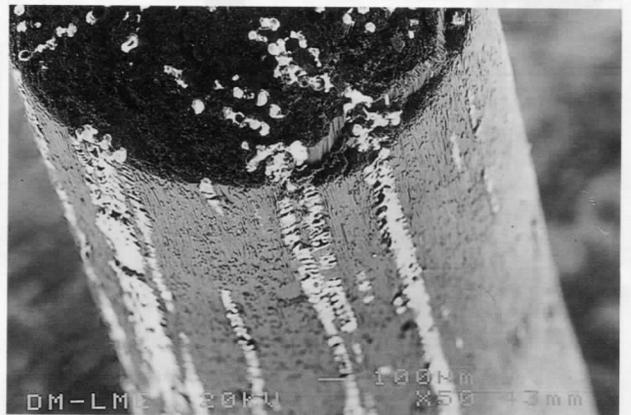


Figura 16. Microfotografía al microscopio electrónico de barrido: se observa que el sulfato de bario se distribuye en forma de pequeñas esferas, del tamaño de 30 µm a 40 µm. Se aprecia la adecuada orientación de las fibras de carbono.

Sin embargo, los valores de 440 MPa y 1600 MPa, nos dan una idea de la diferencia que existe entre la resistencia a la tracción y a la compresión. Estos valores fueron obtenidos con probetas normalizadas, que tienen dimensiones diferentes a las del poste, por lo tanto no muestran sus verdaderas resistencias. Por ejemplo, la empresa fabricante RTD afirma que estos postes tienen una resistencia a la compresión de 440 MPa, mientras la calculada en nuestros ensayos fue de 231 MPa, muy parecida a los valores de 293 MPa obte-

nidos por Casanellas y Gil en otros trabajos anteriores⁽¹⁸⁾. También sería interesante conocer la resistencia a la tracción del poste, pero ésta es bastante difícil de averiguar, debido al tipo de sujeción que se precisaría. Sin embargo, en los dientes naturales, las fuerzas más importantes son las de compresión, ya que son las responsables de provocar fracturas dentarias.

Según los valores obtenidos en la literatura⁽¹⁷⁾, las fuerzas que produce la masticación pueden llegar hasta los 125 N. Por tanto, según la tabla 4, las fuerzas que se aplican en un ángulo comprendido entre 60° y 90°, pueden romper el poste. Sin embargo, se ve que realmente las fuerzas se aplican sobre el sistema «corona + material de reconstrucción + poste» obteniendo una importante disminución de la carga mecánica. También podemos añadir que, por causa de la presión de los tornillos que mantienen el poste y la posible destrucción de algunas fibras en su superficie, los postes pueden perder cierto porcentaje de las características mecánicas.

Se ha podido apreciar una disminución importante de la resistencia a la fuerza en el intervalo comprendido entre 0° y 40°, desde 588 N hasta 118 N, respectivamente. Para ángulos mayores de 40° la carga se estabiliza alrededor de los 90 N. Asimismo, se observa que en el intervalo comprendido entre 20° y 90°, la rigidez del poste (o módulo de Young) va disminuyendo de 34 GPa hasta 9 GPa, por lo que es similar a la rigidez de la dentina (constante de 18 GPa), lo cual es ventajoso desde el punto de vista de la transferencia de las fuerzas de masticación. Sin embargo, en este mismo intervalo entre (40° y 90°), la resistencia del poste a las fuerzas aplicadas es mínima (oscila entre 82.6 N y 107 N). Por lo tanto en este intervalo nos encontramos con el siguiente dilema: «adecuada rigidez frente a adecuada resistencia a las fuerzas». Sin embargo, existe una zona comprendida entre 20° y 40° para la cual la resistencia del poste a las fuerzas es la adecuada (varía entre 339 N y 154 N), y las fuerzas están bien distribuidas en el diente (porque la rigidez del poste es parecida a la de la dentina). Teniendo en cuenta que en los dientes, las fuerzas de

masticación que pueden producir más frecuentemente la fractura de la raíz, son las fuerzas transversales, que coinciden aproximadamente con un ángulo de 20°-30°⁽¹²⁾, se observa, por los resultados de estos trabajos, que esta zona coincide con el intervalo 20°-40° ya observado en este estudio. Por lo tanto cabe concluir que los postes de fibras de carbono se muestran adecuados para este tipo de aplicaciones.

CONCLUSIONES

Los ensayos realizados durante este estudio, permiten un mejor conocimiento de los postes de fibras de carbono con resina epoxi, mejorando algunos inconvenientes de la utilización de los postes metálicos. Para los postes de fibras de carbono se utiliza su anisotropía (es decir la diferencia de propiedades mecánicas según las direcciones), permitiendo una homogeneización entre su rigidez y la rigidez de los dientes en los que están colocados, mejorando la transferencia de las fuerzas y evitando la rotura de las raíces.

En contrapartida, a mayor ángulo de aplicación de las fuerzas (bien absorbidas por la raíz), menor será la capacidad de resistir del poste. Sin embargo, se observa que esto no es lo que ocurre exactamente en la boca, puesto que el poste queda recubierto con un composite de reconstrucción y una corona. Por lo tanto, con la misma intensidad de fuerza tendremos una resistencia mayor, ya que se genera menos flexión. Los ensayos realizados muestran este hecho, observándose que los dientes reconstruidos pueden soportar más de 200 N, para una fuerza aplicada con un ángulo de 90°, 82.6 N para los postes en solitario.

En un futuro próximo sería interesante hacer una serie de nuevos ensayos con dientes reconstruidos, utilizando el mismo soporte que el de los primeros ensayos. Se podría observar así la resistencia del conjunto para cada ángulo y conocer lo primero que se rompe. En nuestro estudio se observa la existencia de una zona comprendida entre 20° y 40°, en donde las

686 características del poste son adecuadas (buena resistencia a las fuerzas y buena distribución de ellas en el diente). En esta angulación es donde las fuerzas que actúan en la boca pueden romper la raíz del diente, y precisamente es aquí donde se demuestra la gran calidad del poste.

Por otra parte, sería interesante conocer el número de ciclos de fatiga (es decir los movimientos de masticación) que pueden soportar los dientes reconstruidos con postes.

ABREVIATURAS Y EQUIVALENCIAS DE UNIDADES

- E: Módulo de Young⁽⁶⁾ (módulo de elasticidad).
- N: Newton (unidad de fuerza) (1 Kg = 9,8 N)
- Pa: Pascal (1 Pa = N/m²)
- MPa: Megapascal (unidad de tensión) (1 MPa = 10⁶ Pa).
- µm: Micrómetro (unidad de longitud) (1 µm = 10⁻⁶ m).

BIBLIOGRAFÍA

1. Hobkirk JA. The response of bone to carbon fibre reinforced carbon implants. En: *Clinical applications of biomaterials*. Chichester: Wiley J & Sons Ltd.; 1982:109.
2. Lovell MJ. *The bond between CFRC and restorative materials*. M. Sc. Tesis. University of London; 1983.
3. Malquarti G, Berruet RG, Bois D. Prosthetic use of carbon fiber-reinforced epoxy resin for esthetic crowns and fixed partial dentures. *J Prosthet Dent* 1990;**63**:251-7.
4. King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth. *J Oral Rehab* 1990;**17**:599-609.
5. Dumitro S. *Polymeric Biomaterials*. New York: Ed. Marcel Dekker; 1994:322-323.
6. Proubasta I, Gil J, Planell JA. *Fundamentos de Biomecánica y Biomateriales*. Madrid: Ed. Ergon; 1977; 85-88.
7. Ducheyne P, Hastings GW. *Dental and Ceramic Biomaterials*. Boca Raton (Florida): CRC Press; 1984; 2:80-84.
8. Black J, Hastings G. *Handbook of Biomaterial Properties*. London: Chapman and Hall (edited by Jonathan Black and Garth Hastings); 1998:253-270.
9. Duret B, Reynaud M, Duret F. Un nouveau concept de reconstruction corono-radicaire: Le Composipost (1). *Le Chir-Dent de France* 1990; **540**:131-141.
10. Duret B, Reynaud M, Duret F. Un nouveau concept de reconstruction corono-radicaire: Le Composipost (2). *Le Chir-Dent de France* 1990;**542**:69-77.
11. Rovatti L, Mason PN, Dallari A. Sistema Composipost (I). *A D* 1992;**14**(6).
12. Dallari A, Mason PN, Rovatti L. Sistema Composipost (II). *A D* 1992;**15**(6).
13. Rovatti L, Mason PN, Dallari A. *Sistema composipost. Técnica de utilización clínica*. *A D* 1992; 15.
14. Rovatti L, Mason PN, Dallari A. *Valoración experimental del sistema Composipost*. *El Dentista Moderno* 1993; 6.
15. Casanellas JM. *Composipost. Nuevo concepto en la reconstrucción de dientes endodonciados*. SEPES XXIV Reunión de la Sociedad Española de Prótesis Estomatológica; 1994; León.
16. Casanellas JM. *El concepto Composipost. Aplicación clínica de las espigas de fibras de carbono en la práctica diaria*. SEOC III Congreso de la Sociedad Española de Odontología Conservadora; 1994; Granada.
17. Padrós E y cols. Las principales ventajas de los postes de fibra de carbono. *Rev Odontoestomatol Esp* 1996;**56**:55-58.
18. Casanellas JM, Gil FX. Reconstrucción de dientes endodonciados mediante postes de fibras de carbono con matriz epóxido (Composipost®). *Arch Odontoestomatol* 1995;**11**:487-501.
19. Casanellas JM, Gil FX. Aplicación de los plásticos reforzados con fibras para la reconstrucción de dientes endodonciados. *Rev Odontoestomatol Esp* 1995;**55**:37-54.
20. *Engineered Materials Handbook*. Vol 1. Composites. Massachusetts: ASM International, 1989.
21. Michaeli W, Wegener M, Capella F. *Tecnología de los composites/plásticos reforzados*. Barcelona: Hanser Editorial; 1992.
22. Park, Lakes. *Biomaterials*. New York: Ed. Plenum Press; 1987.
23. Rodríguez D. *Proyecto Final de Carrera*. E.T.S.E.I.B. Universidad Politécnica de Catalunya, 1995.