
INFLUENCIA DE LOS MATERIALES DE CEMENTACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ESFUERZOS EN UN INCISIVO CENTRAL SUPERIOR REHABILITADO CON POSTE. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS¹

INFLUENCE OF CEMENTATION MATERIALS IN THE STRESS DISTRIBUTION OF AN UPPER CENTRAL INCISOR RESTORED WITH POSTS. A FINITE ELEMENT ANALYSIS¹

MARTHA OROZCO MENDOZA², JUNES ABDUL VILLARRAGA OSSA³,
FEDERICO LATORRE CORREA⁴, JULIO CÉSAR ESCOBAR RESTREPO⁵

RESUMEN. Introducción: para mejorar la predicibilidad de las restauraciones dentales, cada día se presentan nuevos materiales de cementación con diferentes propiedades mecánicas y físicas. El propósito de este estudio fue evaluar y analizar la influencia de los materiales de cementación en la distribución de los esfuerzos en un incisivo central maxilar rehabilitado con un elemento de retención intrarradicular colado y prefabricado usando el método de elementos finitos (MEF). **Métodos:** se modeló un incisivo central superior restaurado con tres elementos de retención intrarradicular (poste colado en metal base, poste prefabricado de titanio y de fibra de vidrio), cementados cada uno con un ionómero de vidrio resinomodificado, cemento resinoso y cemento autoadhesivo. Las variables incluidas en el modelado fueron el módulo de elasticidad, la razón de Poisson para todos los componentes del modelo. Para cada modelo fueron calculados los esfuerzos von Mises, los esfuerzos máximos y mínimos principales y los esfuerzos máximos cortantes. **Resultados:** el análisis de elementos finitos indicó que el cemento influye en la distribución de los esfuerzos cuando el poste es más flexible como el caso del poste prefabricado de fibra de vidrio, ya que el poste y cemento reciben los esfuerzos en conjunto. **Conclusiones:** a medida que el módulo de elasticidad de los cementos es más alto, se aumenta el esfuerzo recibido en ellos, pero su influencia en el sistema, depende de otras variables como el tipo de poste usado.

Palabras clave: módulo de elasticidad, cementos dentales, biomecánica.

Orozco M, Villarraga J, Latorre F, Escobar JC. Influencia de los materiales de cementación en la distribución de los esfuerzos en un incisivo central superior rehabilitado con poste. Análisis de elementos finitos. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2010; 23(1): 56-75.

ABSTRACT. Introduction: in order to improve predictability of dental restorations, new cement materials with different mechanical and physical properties are frequently developed. The purpose of this study was to evaluate and analyze the influence of cement materials in the distribution of stresses in an upper central incisor restored with a cast intrarradicular retention element and two prefabricated elements using the finite element method (FEM). **Methods:** a modeled upper central incisor restored with three dowels (based metal cast post, titanium prefabricated post and fiber glass) and each one cemented with resin-modified glass ionomer luting cement, self-adhesive resin luting cement and dual cured adhesive resin. The variables included were modulus of elasticity and Poisson's ratio for all the components of the model. Von Mises stresses, main maximum and main minimum as well as maximum shear stress were calculated for each model. **Results:** the finite element analysis indicated that the cement influences stress distribution when the post is more flexible as in the case of prefabricated

-
- 1 Artículo derivado de una investigación hecha como requisito para optar al título de especialista en Odontología Integral del Adulto con énfasis en Prosthodontia, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia.
 - 2 Estudiante de posgrado de Odontología Integral del Adulto, con énfasis en Prosthodontia, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia. Correo electrónico: martharosco@hotmail.com.
 - 3 Ingeniero mecánico, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, magister en Ingeniería Mecánica, Universidad Simón Bolívar, Caracas-Venezuela. Correo electrónico: junes@udea.edu.co.
 - 4 Odontólogo, especialista en Odontología Integral del Adulto con énfasis en Prosthodontia, profesor asociado de la Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia. Correo electrónico: flatorre@une.net.co.
 - 5 Odontólogo, especialista en Odontología Integral del Adulto con énfasis en Prosthodontia, profesor asistente Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia. Correo electrónico: jcer75@yahoo.com.

- 1 Article derived from a research project carried out as a requirement to opt for the title of Specialist in Adult Comprehensive Dentistry with Emphasis in Prosthodontics, School of Dentistry, Universidad de Antioquia.
- 2 Graduate student - Adult Comprehensive Dentistry with Emphasis in Prosthodontics, School of Dentistry, Universidad de Antioquia. E-mail address: martharosco@hotmail.com.
- 3 Mechanical engineer, Uniaversidad Nacional de Colombia at Medellín, Msc Mechanical Engineering, Universidad Simón Bolívar, Caracas-Venezuela. E-mail address: junes@udea.edu.co.
- 4 Dentists. Adult Comprehensive Dentistry with Emphasis in Prosthodontics, School of Dentistry, Universidad de Antioquia, Associate Professor, School of Dentistry, Universidad de Antioquia. E-mail address: flatorre@une.net.co.
- 5 Dentists. Specialist in Adult Comprehensive Dentistry with Emphasis in Prosthodontics, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia, Assistant Professor, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia. E-mail address: jcer75@yahoo.com.

RECIBIDO: OCTUBRE 19/2010-ACEPTADO: AGOSTO 28/2011

SUBMITTED: OCTOBER 19, 2010-ACCEPTED: AUGUST 28, 2011

fiberglass because both post and cement receive the stress altogether. **Conclusions:** as the modulus of elasticity of luting cement is higher, the stress received among them increases, but its influence in the system depends on other variables such as the type of post that was used.

Key words: elastic modulus, luting cements, biomechanics.

Orozco M, Villarraga J, Latorre F, Escobar JC. Influence of cementation materials in the stress distribution of an upper central incisor restored with posts. A finite element analysis. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2010; 23(1): 56-75.

INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, los procedimientos adhesivos han incrementado sus demandas por las restauraciones indirectas, lo que ha permitido el desarrollo de nuevas posibilidades terapéuticas adhesivas.^{1,2} Como consecuencia de ello se han desarrollado muchos agentes cementantes, cada uno con indicaciones y limitaciones. En general, los agentes cementantes son materiales que permiten la unión de las restauraciones indirectas a la preparación dentaria³ y deben cumplir con las siguientes propiedades: biocompatibilidad, adhesividad, resistencia traccional, radiopacidad, baja o nula solubilidad, espesor de película adecuado, baja viscosidad, capacidad anticariogénica, alta resistencia a la erosión y fácil manipulación.^{4,5}

Actualmente se comercializan diferentes tipos de agentes cementantes, como el tradicional fosfato de zinc, el policarboxilato, el ionómero de vidrio convencional,^{6,7} el ionómero de vidrio modificado con resina o híbrido,⁸ y los cementos resinosos, los cuales en los últimos años han aumentado su popularidad debido a sus buenas propiedades mecánicas físicas y a su habilidad de adhesión al esmalte, a la dentina y a la porcelana.^{9,10}

De acuerdo con el modo de polimerización estos pueden ser quimiopolimerizables, fotopolimerizables, de polimerización dual y los más recientes denominados autogra-badores, autoadhesivos, duales. El uso de los cementos de polimerización química garantiza la polimerización sin ninguna limitación en el área interna del conducto. Los cementos de resina de fotopolimerización por luz permiten el tiempo suficiente y el control para proveer un selle del poste dentro del canal, pero tienen la desventaja de tener en los canales radiculares sitios donde no se logrará la activación por la fuente de luz. Los cementos duales combinan propiedades favorables de ambos sistemas quimioactivadores y fotoiniciadores, con lo que consiguen cumplir con las condiciones necesarias de trabajo, proporcionando mediante la fotoactivación una fijación inicial y la activación química complementará la unión final.¹¹

INTRODUCTION

During the last two decades, adhesive procedures have been increasingly demanded for indirect restorations allowing the development of new possibilities of adhesive therapies.^{1,2} As a consequence, numerous cement agents have been developed, each of them with indications and limitations. In general, cementing agents are materials that allow bonding between indirect restoration and tooth preparation³ and must comply with the following properties: biocompatibility, adhesiveness, traction resistance, radiopacity, low or no solubility, adequate film thickness, low viscosity, anticariogenic capacity, high resistance to erosion, and easy handling.^{4,5}

Currently, different types of cementation agents are available in the market, such as the customary zinc phosphate, polycarboxylate, conventional glass ionomer,^{6,7} hybrid or resin-modified glass ionomer,⁸ and resinous cements, whose popularity has increased in the last years due to their good physical and mechanical properties and to their ability to adhere to enamel, dentin and porcelain.^{9,10}

According to their polymerization mode they can be chemo-polymerizable, photo-polymerizable, of dual polymerization, and the most recent ones are called self-etching, self-adhesive, and dual. The use chemical polymerization cements ensures polymerization without limitations in the canal's internal area. Light photopolymerized resin cements allow enough time and control to provide post seal inside the canal, but their disadvantage is that there are some spots at the radicular canals where activation by a light source cannot be achieved. Dual cements combine advantageous properties of both chemically-cured and light-activated systems and therefore they satisfy the necessary conditions for this procedure, offering an initial fixation by photo-activation which is later complemented by the final bonding of chemical activation.¹¹

Con la llegada de los cementos resinosos autoadhesivos, autograbadores, duales de paso único; se buscó mejorar la adhesión a la dentina, disminuir los problemas de sensibilidad posoperatorios, mejorar la unión en los sitios pocos sensibles a la luz y simplificar los procedimientos.^{12, 13}

Todos estos cementos plantean unos cambios en la forma de cementación e interacción con la dentina y los diferentes postes que se ofrecen en el medio y pueden tener repercusiones en la distribución de los esfuerzos, en la interfase poste, cemento y dentina. La evidencia científica sobre el comportamiento de estos cementos y su influencia en la predecibilidad de las restauraciones y de las raíces, no es clara, debido a las dificultades para encontrar un consenso acerca de la distribución de los esfuerzos en los mismos y definir si un tipo de cemento con ciertas características es superior al otro.

La necesidad de restaurar dientes fracturados en una población que aumenta su longevidad es real y se requiere evaluaciones que optimicen tiempos, eficiencia y disminuyan costos por repeticiones innecesarias, debido a usos de materiales en forma equivocada.^{12, 13}

Las variables que influyen en la predecibilidad de las raíces tratadas endodóncicamente y restauradas con postes son múltiples, existe controversia en sus resultados y considerándose hoy el cemento como una variable que puede influir en el resultado final de la restauración como lo plantea Asmussen en su investigación.¹³

Uno de los métodos de estudio que es útil actualmente en la evaluación de todas estas variables es el análisis de elementos finitos (MEF), ampliamente aplicado a odontología restauradora. Este es un sistema que modela las condiciones de estructuras amorfas o irregulares que pueden ser hechas en modelos bidimensionales (2D) o tridimensionales (3D), y estos últimos son más exactos y más completos. Estos datos son convertidos en representaciones matemáticas y posteriormente transforman el problema en una matriz algebraica que se resuelve con ayuda de un computador.

La utilización de este método proporciona información sobre los esfuerzos tensiles, compresivos y cortantes (llamados también de cizalla) y sobre la combinación de todos estos conocida como el equivalente de esfuerzos de von Mises. Los esfuerzos de von Mises son utilizados como un indicador de la posible ocurrencia de daño en las estructuras modeladas.^{13, 14}

With the arrival of self-adhesive resinous cements and one-step self-etching dual cements the objective was to improve adhesion to the dentin, decrease post-operative sensitivity problems, improve bonding in areas that are not very sensible to light, and simplify the procedures.^{12, 13}

All these types of cement have caused changes in the forms of cementation and in the interaction with the dentin and the various posts available; they may also have effects in stress distribution at the post-cement-dentine interphase. Scientific evidence about the behavior of these cements and their influence in the predictability of restorations and roots is not yet clear due to the difficulty of finding consensus on stress distribution and identifying whether a cement type with certain characteristics is superior to another.

The need to restore fractured teeth in a population that increases its longevity is a real one, and it requires evaluations that optimize times and efficiency and decrease the costs due to unnecessary repetitions because of incorrect use of materials.^{12, 13}

There are multiple variables influencing the predictability of endodontically-treated roots restored with posts. There is much controversy about their results as cement is considered today a variable that may affect the final result of restoration, as suggested by Asmussen in his research.¹³

One of the methods of analysis currently used for the evaluation of all these variables is the finite element analysis (FEA), widely applied to restorative dentistry. This system models the conditions of amorphous and irregular structures that may be made in bidimensional (2D) or tridimensional (3D) models, being the latter more accurate and complete. These data are turned into mathematical representations and later the problem is transformed into an algebraic matrix which is solved with the help of a computer.

The use of this method offers information about tensile, compressive and cutting stresses (also called shear stresses) and about the combination of all of them, known as equivalent to von Mises stresses. The von Mises stresses are used as indicators of the possible occurrence of damage in modeled structures.^{13, 14}

El propósito de este estudio fue evaluar y analizar la distribución de los esfuerzos (tensiles, compresivos, cortantes y el equivalente de von Mises) que se presentan cuando se usan tres materiales de cementación diferentes en un diente tratado endodóncicamente y restaurado con tres diferentes sistemas de postes y una corona totalmente cerámica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se modeló un incisivo central superior con su estructura de soporte, hueso esponjoso, hueso cortical, ligamento periodontal, encía, raíz, gutapercha, capa de cemento resinosa, postes, muñón de resina (para postes prefabricados), cofia de disilicato de litio y corona cerámica en el *software* CAD (Solid Works) USA para el modelo lineal tridimensional final. Se utilizó el programa solid Works simulation, licencia 2009 para el análisis. La modelación se trabajó de los estudios previos hechos por el grupo sobre el comportamiento de los postes en el sistema, modelación que se hizo inicialmente en estos trabajos previos sobre fotografías, evaluación de dientes naturales y dibujos hechos por ingeniería mecánica de la Facultad de Ingeniería.

Se seleccionó el incisivo central superior por la forma cónica de la raíz, por ser un diente unirradicular, por ser un diente que presenta promedio de restauración alto y además su forma simple facilita el diseño en el computador, ya que presenta un canal pulpar relativamente cilíndrico con pocas alteraciones y variaciones en su forma (el canal es circular en el tercio medio y cervical y se vuelve ovoide en el tercio apical),¹⁵ favoreciendo su indicación para postes colados como prefabricados. También fue seleccionado por su posición anterior en el arco dental y por su inclinación, estando sometido a fuerzas oblicuas con respecto a su eje longitudinal en un ángulo de 45°. Esta angulación es el resultado de cruzar los ejes longitudinales del incisivo central superior (111°) con el incisivo central inferior (90°) teniendo como referencia el plano de Frankfort (porion-órbita) y el plano mandibular respectivamente¹⁶ (figura 1).

A partir del modelo guía, se diseñaron nueve modelos, representando los tres materiales de cementación (objeto de estudio), con tres diferentes elementos intrarradiculares (poste colado en metal base, poste prefabricado en titanio, poste en fibra de vidrio) con la misma longitud de 10 mm.

The purpose of this study was to evaluate and analyze the stress distribution (tensile, compressive, cutting and von-Mises equivalent) that occurs when using three different cementation materials in an endodontically-treated teeth restored with three different post systems and a crown entirely made of ceramic.

MATERIALS AND METHODS

A model was made of a central upper incisor and its support structure: spongy bone, cortical bone, periodontal ligament, gingiva, root, gutta-percha, resinous cement layer, posts, resin core (for prefabricated posts), lithium disilicate cap, and ceramic crown. The software CAD (Solid Works) USA was used for the final tridimensional linear model. The Solid Works simulation software, version 2009, was used for the analysis. The modeling was based on previous studies conducted by the research group on the behavior of posts in the system, initially made on photographs, natural teeth assessment and drawings made by Department Mechanical Engineering.

The upper central incisor was chosen because of its conical root shape, for being a monoradicular tooth that usually presents high restoration averages, and because its simple shape facilitates its computer design, as it presents a relatively cylindrical pulp canal with few shape alterations and variations (its canal is circular at the middle and cervical thirds, and becomes ovoid at the apical third),¹⁵ favoring its indication for cast post as pre-fabricated. It was also selected for its anterior position in the dental arch, and for its inclination, as it is subjected to oblique forces with reference to its longitudinal axis in an angle of 45°. This angulation is the result of intersecting the longitudinal axis of the central upper incisor (111°) with the lower central incisor (90°), having as reference the Frankfort plane (porion-orbit) and the mandibular plane respectively¹⁶ (figure 1).

Based on the guide model, other nine models were designed representing the three cementation materials (object of study) with three different intraradicular elements (based metal cast post, titanium pre-fabricated post and fiberglass) with the same length of 10 mm.

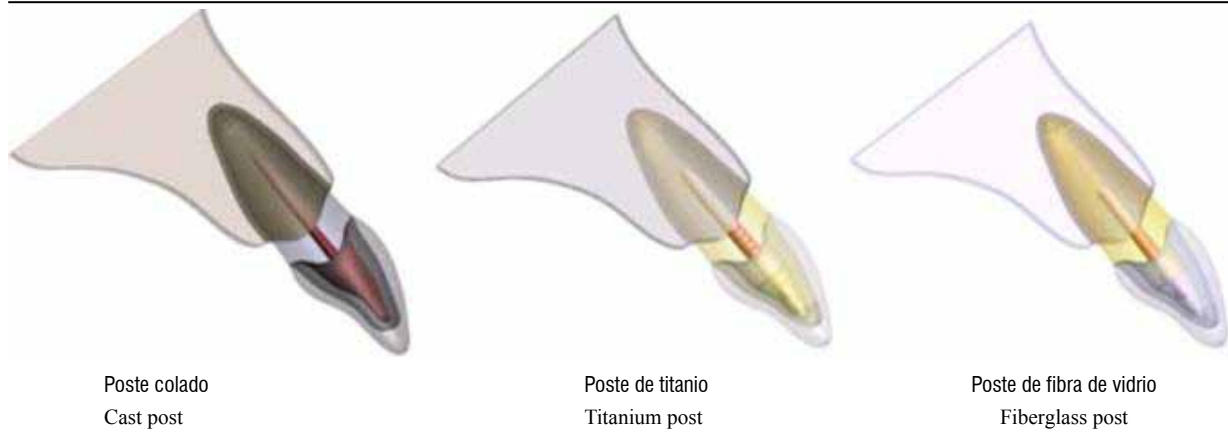


Figura 1. Modelo incisivo central superior

Figure 1. Model of upper central incisor

Se hizo el análisis elástico lineal en el cual se utilizaron elementos tetraédricos (elementos que permiten tres grados de libertad traslacional y tres grados rotacionales por cada nodo), con el fin de obtener la mejor aproximación de las geometrías de las partes, obteniéndose de esta manera una malla tridimensional de elementos finitos de los componentes que conforman el modelo. La convergencia de la malla que se logró fue: en el caso del poste colado con 844,87 nodos y 580,942 elementos, el poste de titanio con 335,804 nodos y 220,702 elementos y el poste de fibra de vidrio con 640,286 nodos y 493,755 elementos. Cada grupo de nodos y elementos es el mismo con todos los materiales de cementación.

La carga aplicada a los modelos fue arbitraria de 200 N, uniformemente distribuida a lo largo de la superficie lingual, simulando las cargas generadas durante algunos de los movimientos masticatorios.

Las propiedades mecánicas de los elementos que componen el modelo numérico fueron obtenidas de estudios previos reportados de la literatura. De esta forma, el modelo contó con propiedades isotrópicas para: la cerámica, el poste de metal base, el poste de titanio, la gutapercha, la dentina, la resina, el ligamento periodontal y el cemento resinoso; y con propiedades ortotrópicas para el hueso cortical, hueso esponjoso y el poste fibra de vidrio (tabla 1).

Geometría

Se modeló la raíz del incisivo central superior con un muñón de 2 mm de estructura coronal remanente llevando

Linear elastic analysis was performed by using tetrahedral elements (elements that allow three degrees of translational freedom and three rotational degrees for each node) in order to obtain the best possible approximation to the geometry of the parts, thus obtaining a tridimensional net of finite elements out of the model's components. The obtained net convergence was as follows: Cast post with 844.87 nodes and 580.942 elements; titanium post with 335.804 nodes and 220.702 elements, and fiberglass post with 640.286 nodes and 493.755 elements. Each group of nodes and elements is the same with all the cementation materials.

The load applied to the models was arbitrary of 200 N, evenly distributed along the lingual surface, simulating the loads generated during some masticatory movements.

The mechanical properties of the elements composing the numeric model were obtained from previous studies reported in the specialized literature. Thus the model had isotropic properties for: ceramics, base metal post, titanium post, gutta-percha, dentine, resin, periodontal ligament, and resinous cement, as well as orthotropic properties for cortical bone, soft bone and fiberglass post (table 1).

Geometry

The central upper incisor's root was modeled with a core of 2 mm of remnant crown structure, taking

Tabla 1. *Propiedades mecánicas de los materiales utilizados*

Material	E (MPa) módulo de elasticidad			V razón de Poisson		
	X	Y	Z	XY	YZ	XZ
Dentina ¹⁷	18,600	18,600	18,600	0,31	0,31	0,310
Hueso esponjoso ¹⁸	315,650	390,380	942,630	0,295	0,10	0,115
Hueso cortical ¹⁸	10,300	14,200	27,000	0,295	0,10	0,115
Cerámica feldespática IPS e.Max (Ivoclar Vivadent) ¹⁹	69,000	69,000	69,000	0,280	0,28	0,280
Cofia disilicato de litio ²⁰ IPS e.Max press (Ivoclar Vivadent)	95,000	95,000	95,000	0,260	0,26	0,260
Gutapercha ¹⁷	0,690	0,690	0,690	0,450	0,45	0,450
Ligamento periodontal ¹⁷	68,900	68,900	68,900	0,450	0,45	0,450
Muñón en resina ²¹	12,400	12,400	12,400	0,300	0,30	0,300
Poste colado metal base ²² 4all (Ivoclar Vivadent)	220,000	220,000	200,000	0,300	0,30	0,300
Poste prefabricado (titanio) Parapost XH, Coltene/Whaledent ²³	110,000	110,000	110,000	0,330	0,33	0,330
Poste prefabricado (fibra de vidrio) Parapost Fiber White, Coltene/Whaledent ²³	11,000	40,000	11,000	0,070	0,26	0,320
Cemento ionómero de vidrio resino modificado (Rely X TM luting plus 3M ESPE ²⁴	3,700	3,700	3,700	0,250	0,25	0,250
Cemento resinoso RelyX TM ARC de 3M ESPE ²⁵	5,500	5,500	5,500	0,270	0,27	0,270
Cemento resinoso RelyX TM UNICEM o resinoso autoadhesivo universal (RelyX TM UNICEM de 3M ESPE) ²⁶	8,400	8,400	8,400	0,300	0,30	0,300

E: módulo de elasticidad V: coeficiente de Poisson

Table 1. *Mechanical properties of the materials used*

Material	E (MPa) elasticity modulus			V Poisson's ratio		
	X	Y	Z	XY	YZ	XZ
Dentine ¹⁷	18.600	18.600	18.600	0.31	0.31	0.310
Trabecular bone ¹⁸	315.650	390.380	942.630	0.295	0.10	0.115
Cortical bone ¹⁸	10.300	14.200	27.000	0.295	0.10	0.115
Feldspar ceramics IPS e. Max (IvoclarVivadent) ¹⁹	69.000	69.000	69.000	0.280	0.28	0.280
lithium disilicate cap ²⁰ IPS e. Max press (IvoclarVivadent)	95.000	95.000	95.000	0.260	0.26	0.260
Gutta-percha ¹⁷	0.690	0.690	0.690	0.450	0.45	0.450
Periodontal ligament ¹⁷	68.900	68.900	68.900	0.450	0.45	0.450
Resin core ²¹	12.400	12.400	12.400	0.300	0.30	0.300
Metal base cast post ²² 4all (IvoclarVivadent)	220.000	220.000	200.000	0.300	0.30	0.300
Prefabricated post (titanium) Parapost XH, Coltene/Whaledent ²³	110.000	110.000	110.000	0.330	0.33	0.330
Prefabricated post (fiberglass) Parapost Fiber White, Coltene/Whaledent ²³	11.000	40.000	11.000	0.070	0.26	0.320
Resin-modified glass ionomer cement (Rely X TM luting plus 3M ESPE ²⁴	3.700	3.700	3.700	0.250	0.25	0.250
Resinous cement RelyX TM ARC de 3M ESPE ²⁵	5.500	5.500	5.500	0.270	0.27	0.270
Resinous cement RelyX TM UNICEM or universal self-adhesive resinous (RelyX TM UNICEM de 3M ESPE) ²⁶	8.400	8.400	8.400	0.300	0.30	0.300

E: elasticity modulus. V: Poisson's ratio

un bisel de 1 mm en su periferia para obtener el efecto de abrazadera (de férula) de acuerdo con lo recomendado por la literatura, tanto en los postes colados como en los prefabricados.²⁷

La raíz se diseñó de forma cónica para facilitar la modelación y con diámetro de 5 mm para todos los modelos para que no se afectaran los resultados debido a la gran variabilidad que existe en la anatomía y en las dimensiones radiculares de un individuo a otro.

Para el diseño del conducto radicular se tuvo en cuenta que la amplitud del canal pulpar no superara un tercio de la amplitud radicular en su parte más estrecha; teniendo como mínimo 1 mm de dentina sana a su alrededor, sobre todo en la región del ápice.³

a bevel of 1 mm around its periphery in order to produce the ferrule effect as recommended by the specialized literature, both in the cast posts and the prefabricated ones.²⁷

The root was given a conic shape in order to facilitate modeling and a 5 mm diameter in all the models so that the results wouldn't be affected due to the great variability existing in anatomy and in radicular dimensions from one individual to another.

For the root canal design, it was taken into account that the pulp canal width would not exceed one third of the radicular width in its narrower section, having at least 1 mm of healthy dentine around it, especially in the apical region.³

Los cuatro milímetros apicales del conducto radicular se modelaron con las propiedades de la gutapercha (material de obturación para endodoncia) conservando así, la cantidad mínima de obturación remanente que se describe en la literatura para evitar la filtración.²⁷

Para el resto del conducto radicular y su porción coronal se modeló un poste con los tres diferentes tipos de materiales que se van a estudiar. El poste se diseñó con diámetro coronal de 1,6 mm y apical de 1,1 mm, ajustándose a la anatomía interna del canal radicular con su porción apical redondeada. Los postes se cementaron con cemento de ionómero de vidrio resino modificado (Rely X™ luting de 3M ESPE), cemento resinoso (RelyX™ARC de 3M ESPE) y cemento resinoso autoadhesivo universal (RelyX™ UNICEM 3M ESPE) con espesor de cemento uniforme de 40 μm en el caso del poste colado y espesor heterogéneo de 50 μm para los postes prefabricados por su geometría, garantizando el espesor mínimo mencionado anteriormente.

La configuración del muñón guardó las proporciones de la preparación para una corona completa en cerámica de un incisivo central superior izquierdo, la cual se requiere reducción promedio axial de 1,8 mm. Con esto se aseguró el espacio adecuado para la modelación de la corona en cerámica de la siguiente manera: el espesor de la porcelana fue entre 1,5 y 1,8 mm, excepto en la porción incisal que fue de 2,0 mm. Todos estos parámetros ayudaron a que la restauración cumpliera con los requisitos de estética y espesor adecuados para la resistencia del material y así evitar los sobrecontornos.

El ligamento periodontal se diseñó teniendo en cuenta las propiedades isotrópicas (materiales con iguales características en todas las direcciones); con espesor en la periferia de la raíz de 0,2 mm y se ubicó a 1,5 mm de la unión cementoamélica.

Para el diseño del hueso alveolar se incluyó el hueso esponjoso que forma el interior del cuerpo maxilar y el hueso cortical que rodeo tanto el maxilar como el alvéolo. Se consideraron ambas estructuras con propiedades ortotrópicas (materiales con diferentes características los ejes x, y, z). La altura ósea fue de 18 mm desde la cresta alveolar hasta la porción basal maxilar. El hueso cortical fue de 1 mm de espesor en la zona periférica desde la región basal y de 0,5 mm hacia la región interna del alvéolo.

The four apical millimeters of the radicular canal were modeled with the properties of gutta-percha (a filling material for endodontics) thus maintaining the minimum amount of remnant filling to avoid filtration, as described in the literature.²⁷

For the rest of the radicular canal and its coronal portion, a post was modeled with the three different types of materials to be studied. The post was designed with a crown diameter of 1.6 mm and an apical diameter of 1.1 mm, fitting the internal anatomy of the radicular canal with its apical portion rounded. The posts were cemented with resin-modified glass ionomer (Rely X™ luting of 3M ESPE), resinous cement (RelyX™ARC of 3M ESPE), and universal self-adhesive resinous cement (RelyX™ UNICEM 3M ESPE) with cement thickness of 40 μm in the case of the cast post and heterogeneous thickness of 50 μm for the prefabricated posts due to their geometry, thus guaranteeing the minimum thickness previously mentioned.

The core configuration maintained the proportions of the preparation of a central upper left incisor's complete crown in ceramics, which requires an average axial reduction of 1.8 mm. This ensured the adequate space for modeling the ceramic crown as follows: The porcelain thickness was of between 1.5 and 1.8 mm, except at the incisal portion where it was of 2.0 mm. All these parameters allowed the restoration to meet the recommended esthetic and thickness requirements for material resistance and thus avoid overcontours.

The periodontal ligament was designed taking into account isotropic properties (materials with the same characteristics in all directions), with 0.2 mm thickness at the root periphery, and it was located 1.5 mm from the cemento-enamel junction.

The alveolar bone design included the trabecular bone that forms the interior of the maxillary body and the cortical bone that surrounds both the maxillary and the alveolus. Both structures were considered as having orthotropic properties (materials with different characteristics at the x, y, and z axes). The osseous height was of 18 mm from the alveolar crest up to the maxillary base portion. The cortical bone was of 1 mm thick in the peripheral zone from the basal region and of 0.5 mm towards the alveolus' internal region.

El diente tuvo longitud total de 23 mm, la corona midió 9 mm de longitud por ocho de amplitud y la raíz 14 mm de longitud por 5 de diámetro.

Para obtener el esfuerzo y el desplazamiento mediante el modelo, se utilizaron constantes elásticas (modelo elástico de Young: propiedad de los materiales que equivale a la pendiente de la curva de esfuerzo contra la deformación en el rango elástico y la razón de Poisson que es una constante elástica de los materiales que indica la relación entre la deformación axial y lateral).

RESULTADOS

Una vez hecho el modelo matemático tridimensional de un diente incisivo central superior tratado endodóncicamente, restaurado con tres postes y agentes cementantes, se corrió la simulación en el *software* de elementos finitos y se obtuvieron los siguientes resultados:

El poste colado (material con mayor módulo de elasticidad en este estudio) presentó en la mayoría de los casos menor distribución de los esfuerzos hacia la raíz, seguido por el poste prefabricado de titanio y por último el poste de fibra de vidrio. Los esfuerzos principales máximos (tensiles) de los tres postes cementados con ionómero de vidrio resinomodificado (luting plus), cemento resinoso (ARC) y cemento autoadhesivo (UNICEM) se observaron en la parte interna cervical de la cofia de disilicato de litio hacia mesial y distal, como se muestra en la figura 2.

Los esfuerzos principales mínimos (compresivo) en el caso del poste colado se observaron en la parte externa de la cofia de disilicato hacia vestibular y en el espigo del poste mismo. En el caso del poste de titanio el esfuerzo se concentró en las ranuras por la misma configuración o geometría del poste y finalmente en el poste prefabricado de fibra de vidrio el esfuerzo se concentró en la cofia de disilicato de litio en la parte externa en mesial, distal y cervical, como se muestra en la figura 3.

Los esfuerzos máximos cortantes son observados en la línea de terminación parte interna hacia vestibular y la tendencia es que disminuye el esfuerzo cortante levemente a medida que incrementa el módulo de elasticidad del poste, mientras que en el poste de fibra de vidrio se presentó hacia vestibular y palatino, como se observa en la figura 4.

The teeth had a total length of 23 mm; the crown had 9 mm of length and 8 mm of width, and the root had 14 mm of length with a 5 mm diameter.

In order to calculate stress and displacement by using the model, elastic constants were used (Young's elastic model: a property of the materials equivalent to the slope of stress curve against the elastic range deformation and Poisson's ratio, which is an elastic constant of materials indicating the relation between axial and lateral deformation).

RESULTS

Once the tridimensional mathematic model of an upper central incisor endodontically treated and restored with three posts and cementation agents was completed, the simulation was run with the finite elements software and the following results were obtained:

In most cases, the cast post (the material with the greatest elasticity modulus in this study) presented the minimum stress distribution towards the root, followed by the prefabricated titanium post and the fiberglass post. The maximum principal stresses (tensiles) of the three posts cemented with resin-modified glass ionomer (luting plus), resinous cement (RC) and self-adhesive cement (UNICEM) were observed at the internal cervical section of the lithium disilicate cap towards mesial and distal, as shown in figure 2.

The minimum principal stresses (compressive) in the case of the cast post were observed at the external section of the lithium disilicate cap towards vestibular and at the pin of the post itself. In the case of the titanium post, the stress converged on the openings due to the actual configuration or geometry of the post; finally, in the fiberglass prefabricated post, the stress converged on the lithium disilicate cap at the external section at mesial, distal and cervical, as shown in figure 3.

The maximum shear stresses are observed at the termination line, internal section towards vestibular, and the tendency is for the shear stress to slightly reduce as the post elasticity modulus increases, while in the fiberglass post it occurred towards vestibular and palatal, as shown in figure 4.

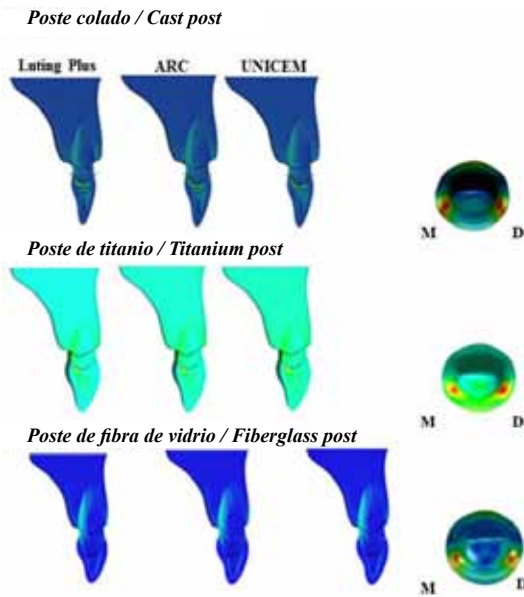


Figura 2. Esfuerzos principales máximos
 Figure 2. Maximum principal stresses

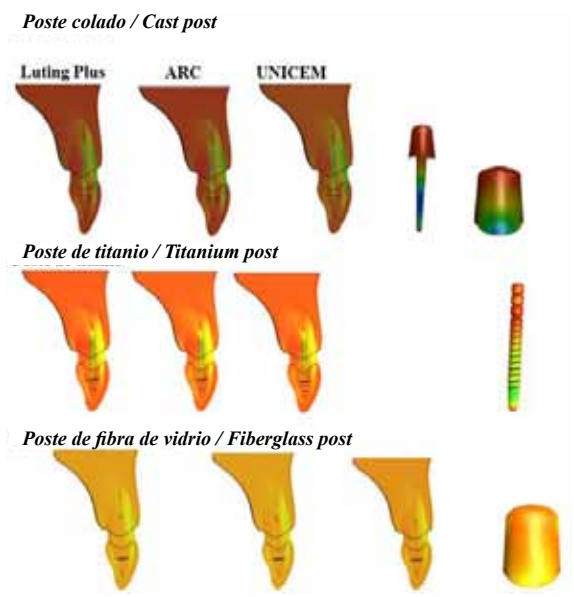
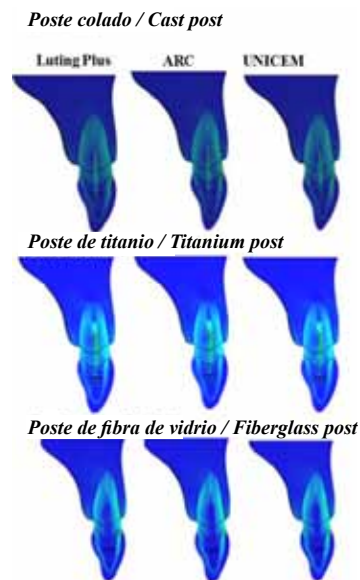


Figura 3. Esfuerzos principales mínimos
 Figure 3. Minimum principal stresses



Poste colado metal base cementado con ionómero de vidrio resinomodificado, cemento resinoso y cemento autoadhesivo
 Metal base case post cemented with resin-modified glass ionomer, resinous cement, and self-adhesive cement.

Figura 4. Esfuerzos máximos cortantes
 Figure 4. Maximum shear stresses

La tabla 2 y la figura 5 presentan la comparación del esfuerzo de von Mises, los esfuerzos principales máximos y mínimos en la raíz, el poste colado y el cemento,

Table 2 and figure 5 show the comparisons between von Mises stress, maximum and minimum principal root stresses, cast post, and the cement, showing

mostrando mayor distribución del esfuerzo en el poste colado y a medida que aumenta el módulo de elasticidad del cemento, disminuye la concentración de esfuerzo en la raíz.

La concentración de esfuerzos von Mises en el poste se mantiene similar en los tres modelos, contrario a la raíz que disminuye la concentración a medida que cambia el tipo de cemento, de Rely X luting plus a Rely X ARC hasta llegar a Rely X UNICEM.

Este último cemento recibe el mayor esfuerzo von Mises en este modelo, como también recibe el mayor esfuerzo tensil y compresivo, y muestran la diferencia del compresivo mayor, ya que dobla al valor del cemento X luting plus.

A medida que el cemento aumenta el valor de von Mises, disminuye la concentración de los mismos en las raíces con postes colados.

En relación con los esfuerzos máximos principales, la concentración de ellos en la raíz no cambia sustancialmente pero en los esfuerzos compresivos mantiene la tendencia que muestra con los esfuerzos de von Mises, donde disminuye su concentración y en los cementos tanto en los mínimos principales como en los máximos principales aumenta, siendo más notoria la diferencia en los mínimos principales.

greater stress distribution in the cast post and, as the cement's elasticity modulus increases, the stress concentration at the root decreases.

The concentration of von Mises stresses in the post remains similar in the three models, except at the root, which reduces the concentration as the type of cement changes from Rely X luting plus to Rely X ARC up to Rely X UNICEM.

The latter receives the greater von Mises stress in this model, and it also receives the greater tensile and compressive stresses, showing the difference of the greater compressive, since it doubles the value of the X luting plus cement.

As the cement increases the von Mises stresses value, their concentration decreases at the roots with cast posts.

In terms of the maximum principal stresses, their concentration in the root does not substantially change, but in the compressive stresses it maintains the tendency shown with the von Mises stresses, where it decreases its concentration while it increases in the cements (both in the principal minimums and the principal maximums), being this difference more prominent in the principal minimums.

Tabla 2. Comparación de esfuerzos máximos, mínimos y von Mises N/m² en un incisivo central superior rehabilitado con un poste colado (metal base) con carga de 200 N

Cemento	Esfuerzo von Mises <i>Mpa</i>			Esfuerzo máximo principal <i>Mpa</i>			Esfuerzo mínimo principal <i>Mpa</i>			Esfuerzo cortante máximo <i>Mpa</i>		
	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento
RelyX™ luting plus	61,78	122,50	46,6	43,89	54,32	14,65	-63,44	-123,8	-46,8	40,5	61,3	21,5
RelyX™ ARC	54,80	122,70	57,70	43,39	50,03	18,99	-58,39	-124,2	-59,52	38,9	60,8	25,4
RelyX™ UNICEM	50,38	122,79	78,79	42,72	45,86	24,21	-53,19	-124,59	-87,41	34,7	59,7	38,1

Table 2. Comparison of maximum, minimum and von Mises N/m² stresses in a central upper incisor restored with a cast post (metal base) with a load of 200 N

Cement	von Mises stress <i>Mpa</i>			Principal maximum stress <i>Mpa</i>			Principal minimum stress <i>Mpa</i>			Maximum shear stress <i>Mpa</i>		
	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement
RelyX™ luting plus	61.78	122.50	46.6	43.89	54.32	14.65	-63.44	-123.80	-46.80	40.5	61.3	21.5
RelyX™ ARC	54.80	122.70	57.70	43.39	50.03	18.99	-58.39	-124.20	-59.52	38.9	60.8	25.4
RelyX™ UNICEM	50.38	122.79	78.79	42.72	45.86	24.21	-53.19	-124.59	-87.41	34.7	59.7	38.1

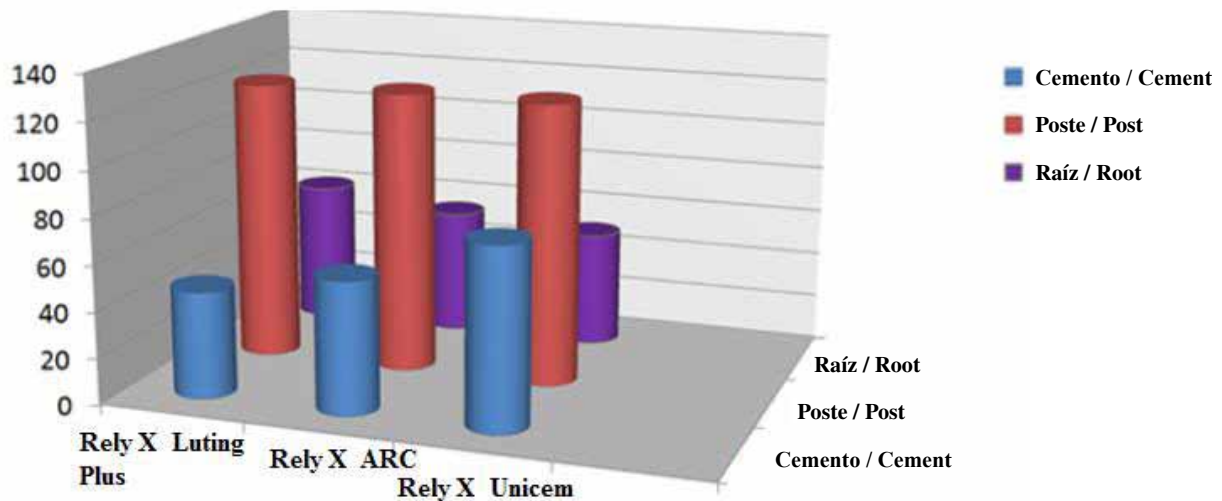


Figura 5. Comparación de esfuerzo von Mises (Mpa) en raíz, poste colado de metal base y tres tipos de cemento

Figure 5. Comparison of Von Mises stress (Mpa) at the root, metal base cast post and three types of cement

Respecto a los esfuerzos cortantes, hay mayor concentración en el poste colado, y el cemento recibe casi tres veces menos esfuerzos cortantes que el poste, quedando la raíz en el intermedio entre ambos (tabla 2).

Poste de titanio cementado con ionómero de vidrio resinomodificado, cemento resinoso y cemento autoadhesivo

La tabla 3 y la figura 6 muestran la comparación del esfuerzo de von Mises, los esfuerzos principales máximos y mínimos en la raíz, el poste de titanio y el cemento, muestran mayor distribución del esfuerzo en el poste de titanio. La distribución de esfuerzos von Mises en el modelo con poste de titanio muestra tendencia similar al del modelo con poste colado, presenta disminución en la raíz y el incremento en los esfuerzos en el modelo con cemento Rely X luting plus hasta llegar al modelo con Rely X UNICEM.

Respecto a los esfuerzos cortantes, hay mayor concentración en el poste de titanio, y el cemento recibe casi tres veces menos esfuerzos cortantes que el poste, quedando la raíz en el intermedio entre ambos esfuerzos, comportamiento muy similar al poste colado (tabla 3).

Concerning the shear stresses, there is a greater concentration of them in the cast post, and the cement receives almost three times less shear stresses than the post, being the root located in between them (table 2).

Titanium post cemented with resin-modified glass ionomer, resinous cement, and self-adhesive cement

Table 3 and figure 6 show the comparisons between von Mises stress, maximum and minimum principal root stresses, titanium post, and the cement, showing greater stress distribution in the titanium post. Von Mises stress distribution in the model with titanium post shows a tendency similar to the model with cast post, it presents reduction at the root, and stress increase in the model with Rely X luting plus cement up to the model with Rely X UNICEM.

Concerning shear stresses, there is a greater concentration of them in the titanium post, and the cement receives almost three times less shear stress than the post, being the root in between both stresses; this behavior is very similar to the cast post (table 3).

Tabla 3. Comparación de esfuerzos máximos, mínimos y von Mises N/m² en un incisivo central superior rehabilitado con un poste prefabricado de titanio con carga de 200 N

Cemento	Esfuerzo von Mises Mpa			Esfuerzo máximo principal Mpa			Esfuerzo mínimo principal Mpa			Esfuerzo cortante máximo Mpa		
	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento
RelyX™ luting plus	60,38	129,90	24,96	42,60	52,21	15,25	-62,43	-144,2	-46,32	40,5	67,8	21,5
RelyX™ ARC	53,69	129,87	27,63	42,59	49,13	20,01	-59,19	-144,39	-62,04	36,5	67,7	27,8
RelyX™ UNICEM	50,20	125,20	30,47	42,36	45,88	26,45	-54,25	-144,90	-84,54	38,3	67,6	38,8

Table 3. Comparison of maximum, minimum and von Mises N/m² stresses in a central upper incisor restored with a prefabricated titanium post with a load of 200 N

Cement	Von Misses stress Mpa			Principal maximum stress Mpa			Principal minimum stress Mpa			Maximum shear stress Mpa		
	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement
RelyX™ luting plus	60.38	129.90	24.96	42.60	52.21	15.25	-62.43	-144.2	-46.32	40.5	67.8	21.5
RelyX™ ARC	53.69	129.87	27.63	42.59	49.13	20.01	-59.19	-144.39	-62.04	36.5	67.7	27.8
RelyX™ UNICEM	50.20	125.20	30.47	42.36	45.88	26.45	-54.25	-144.90	-84.54	38.3	67.6	38.8

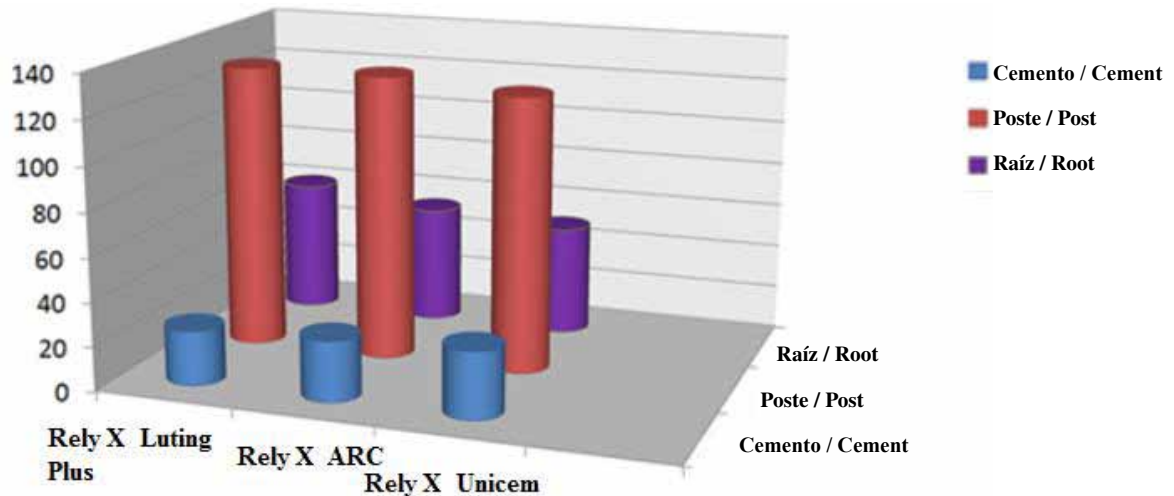


Figura 6. Comparación de esfuerzo von Mises Mpa en raíz, poste prefabricado de titanio y tres tipos de cemento

Figure 6. Comparison of Von Mises stress Mpa at the root, prefabricated titanium post and three types of cement

Poste de fibra de vidrio cementado con ionómero de vidrio modificado con resina, cemento resinoso y cemento autoadhesivo

La tabla 4 y la figura 7, muestran la comparación del esfuerzo de von Mises, los esfuerzos principales máximos y mínimos en la raíz, el poste de fibra de vidrio y el cemento, dándose mayor distribución del esfuerzo en el cemento y en la raíz.

Fiberglass post cemented with resin-modified ionomer glass, resinous cement, and self-adhesive cement

Table 4 and figure 7 show the comparisons between von Mises stress, maximum and minimum principal root stresses, the fiberglass post, and the cement, showing greater stress distribution in the cement and the root.

El cemento resinoso se incrementa con la misma tendencia de los otros modelos, y presenta una diferencia sustancial en los esfuerzos von Mises, donde pasa del Rely X luting plus con 68,08 Mpa al cemento Rely X Unicem con 100,92 Mpa. Los postes de fibra de vidrio en estos modelos se mantienen con una distribución de esfuerzos von Mises, máximo principales y mínimo principales similares en sus valores, siendo este el único modelo en el cual el poste es el que recibe menos esfuerzos con respecto a los esfuerzos cortantes, hay mayor concentración en la raíz y en el cemento, a diferencia de los otros dos modelos, pero en promedio tanto raíz como cemento reciben proporcionalmente un esfuerzo similar.

The resinous cement increases with the same tendency as in the other models, and presents a substantial difference in the von Mises stresses, where it goes from the Rely X luting plus cement with 68.08 Mpa to the Rely X Unicem cement with 100.92 Mpa. In these models, the fiberglass posts remain with similar von Mises, principal maximum and principal minimum stress distribution, being this the only model in which the post is the one that receives the less amount of stress in relation to shear stresses; there is greater concentration at the root and the cement, contrary to the other models, but in average both the root and the cement proportionally receive similar stress.

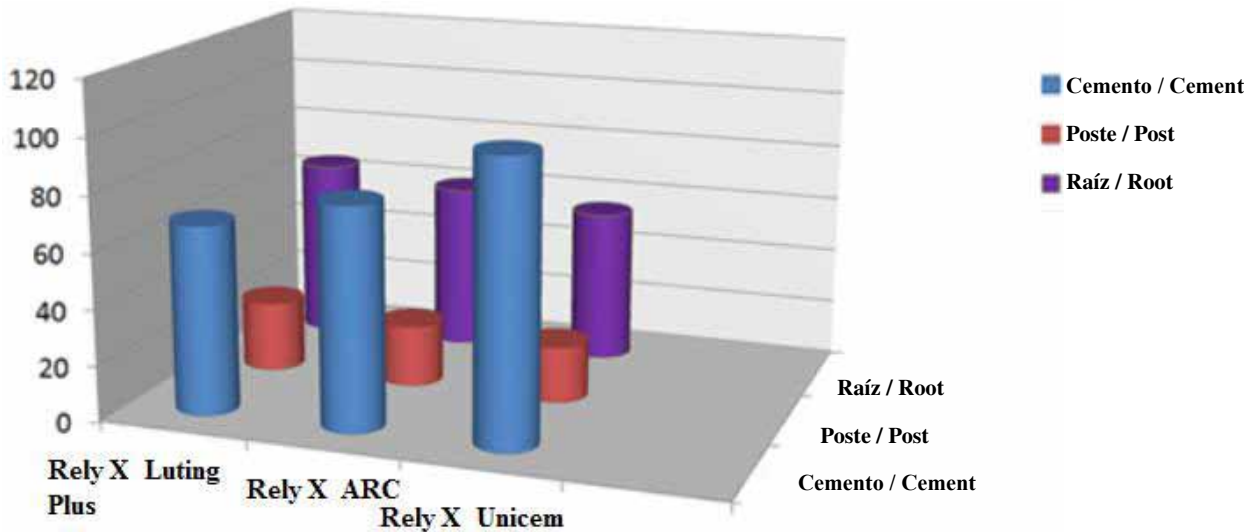


Figura 7. Comparación de esfuerzo von Mises (Mpa) en raíz, poste prefabricado de fibra de vidrio y tres tipos de cemento

Figure 7. Comparison of von Mises stress (Mpa) at the root, prefabricated fiberglass post, and three types of cement

Tabla 4. Comparación de esfuerzos máximos, mínimos y von Mises N/m² en un incisivo central superior rehabilitado con un poste prefabricado de fibra de vidrio con carga de 200 N

Cemento	Esfuerzo von Mises Mpa			Esfuerzo máximo principal Mpa			Esfuerzo mínimo principal Mpa			Esfuerzo cortante máximo Mpa		
	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento
RelyX™ luting plus	65,21	25,56	68,08	50,06	11,06	25,86	-68,98	-21,84	-70,15	43,6	12,5	33,6
RelyX™ ARC	60,23	22,37	79,81	45,14	10,72	32,57	-62,21	-21,92	-91,77	35,7	13,4	45,2
RelyX™ UNICEM	55,19	20,54	100,92	41,38	10,01	40,72	-55,42	-22,12	120,85	34,2	12,1	29,1

Table 4. Comparison of maximum, minimum and von Mises N/m^2 stresses in a central upper incisor restored with a prefabricated fiberglass post with a load of 200 N

Cement	Von Misses stress Mpa			Principal maximum stress Mpa			Principal minimum stress Mpa			Maximum shear stress Mpa		
	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement
RelyX™ luting plus	65.21	25.56	68.08	50.06	11.06	25.86	-68.98	-21.84	-70.15	43.6	12.5	33.6
RelyX™ ARC	60.23	22.37	79.81	45.14	10.72	32.57	-62.21	-21.92	-91.77	35.7	13.4	45.2
RelyX™ UNICEM	55.19	20.54	100.92	41.38	10.01	40.72	-55.42	-22.12	120.85	34.2	12.1	29.1

Al hacer una correlación entre los esfuerzos de von Mises (tabla 5 y figura 8) de los tres tipos de postes con diferentes cementos, se observó que el poste de titanio, junto con el poste colado reciben los mayores esfuerzos comparado con el de fibra de vidrio, con diferencia marcada en los valores de estos dos y el del material de fibra de vidrio. La relación poste-cemento muestra que, mientras en el poste colado el esfuerzo en el cemento aumentó cuando se usó un material de cementación con un módulo de elasticidad mayor, el esfuerzo en el poste no varió. En los postes de titanio y fibra de vidrio se mantiene la misma tendencia, poca variación en el von Mises del poste e incremento del von Mises en el cemento, proporcional a su cambio en el módulo de elasticidad.

When a correlation among the von Mises stresses (table 5 and figure 8) of the three types of posts with different cements was made, it was evident that the titanium post, along with the cast post, received the greatest stresses compared to the one of fiberglass, with a significant difference between the values of these two and the one of fiberglass. The post-cement relationship shows that, while in the post cast the stress in the cement increased, when a cementation material with a greater elasticity modulus was used, the stress in the post did not vary. In the titanium and fiberglass posts, the same tendency remains: little variation of the von Mises in the post, and von Mises increase in the cement, proportional to its change in the elasticity modulus.

Tabla 5. Comparación de esfuerzos von Mises (Mpa)

Cemento	Poste colado			Poste de titanio			Poste de fibra de vidrio		
	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento	Raíz	Poste	Cemento
Rely X™ luting plus	61,78	122,50	46,60	60,38	129,90	24,96	65,21	25,56	68,08
RelyX™ ARC	54,80	122,70	57,70	53,69	129,87	27,63	60,23	22,37	79,81
RelyX™ UNICEM	50,38	122,79	78,79	50,2	125,20	30,47	55,19	20,54	100,92

Table 5. Comparison of von Mises stresses (Mpa)

Cement	Cast post			Titanium post			Fiberglass post		
	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement	Root	Post	Cement
RelyX™ luting plus	61.78	122.50	46.60	60.38	129.9	24.96	65.21	25.56	68.08
RelyX™ ARC	54.80	122.70	57.70	53.69	129.87	27.63	60.23	22.37	79.81
RelyX™ UNICEM	50.38	122.79	78.79	50.20	125.20	30.47	55.19	20.54	100.92

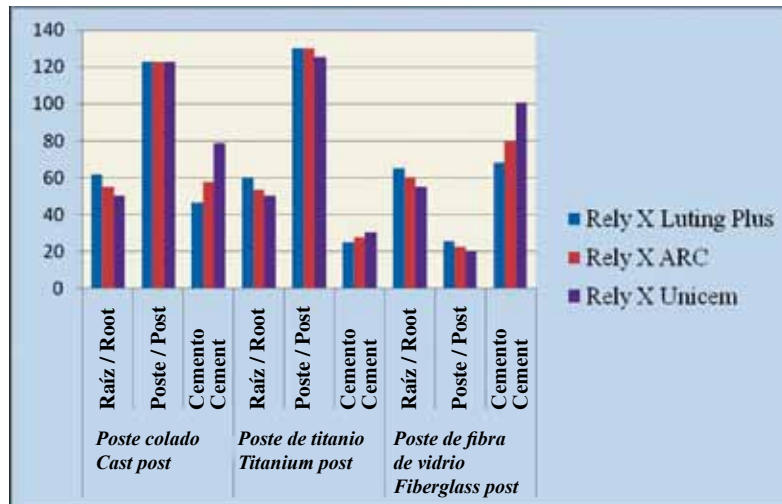


Figura 8. Comparación de esfuerzo von Mises (Mpa)

Figure 8. Comparison of von Mises stresses (Mpa)

DISCUSIÓN

La restauración de los dientes tratados endodóncicamente es un problema común en odontología restaurativa, relacionada con la pérdida de la estructura dental en estos dientes. El objetivo principal de un poste es mantener el material del muñón para dar retención a una restauración protésica. La evaluación de los esfuerzos es importante, sobre todo en los dientes anteriores en donde las cargas son transversales y el comportamiento flexural del poste debe ser considerado, debido a que la magnitud y el ángulo de carga incisal influyen en gran medida en el éxito a largo plazo de estos sistemas de restauración. Por esta razón este estudio analizó el comportamiento mecánico de un incisivo central maxilar tratado endodóncicamente y restaurado con diferentes postes, materiales de cementación y una corona totalmente cerámica a través de un análisis de elementos finitos, evaluándose los diferentes esfuerzos (tensiles, compresivos, cortantes y el equivalente de von Mises).

Estos resultados se dan en los tres tipos de postes: colado, titanio y fibra de vidrio, aunque hay una diferencia importante con los postes de fibra de vidrio en donde los agentes cementantes reciben mayor esfuerzo que el mismo poste, lo que implicaría que cuando se utiliza un poste de bajo módulo de elasticidad el cemento tendría un papel más preponderante y a medida que el módulo de elasticidad de estos cementos se incrementa, la distribución de esfuerzos en la raíz se disminuye como se observa en la tabla 5.

DISCUSSION

Restoration of endodontically-treated teeth is a common problem in restorative dentistry, related to the loss of dental structure in these teeth. The main objective of a post is to maintain the material of the resin core, in order to provide retention for the prosthetic restoration. Evaluating the stresses is important, especially in the anterior teeth, where the loads are transversal and the flexural behavior of the post must be taken into account because magnitude and incisal load angle greatly affect the long-term success of these restoration systems. This is the reason why this study analyzed the mechanical behavior of a central maxillary incisor endodontically treated and restored with different posts, cementation materials, and a crown totally made of ceramics, by means of a finite elements analysis assessing the diverse stresses (tensile, compressive, shear, and von Mises equivalent).

These results are found in the three types of posts: cast, titanium and fiberglass, although with an important difference in the fiberglass posts, where the cementing agents receive greater stress than the post itself, and this would mean that, when a post of low elasticity modulus is used, the cement would play a more important role and, as the elasticity modulus of the cements increases, stress distribution at the root decreases, as shown in table 5.

El incremento de los esfuerzos en los cementos, desde el de menor valor que es el Rely X luting plus, pasando por el Rely X ARC hasta llegar al Rely X UNICEM, es proporcional a su módulo de elasticidad, lo que indica que el uso de cementos con mayor módulo de elasticidad, tendrá mayor implicación clínica en combinación con postes de módulo de elasticidad menor, ya que reducen el esfuerzo sobre la raíz del diente.

Esto concuerda con lo encontrado por Asmussen¹³ en 2005 y Sidoli²⁸ en 1997, quienes encontraron que los esfuerzos en la dentina disminuían si se incrementaba el módulo de elasticidad del poste, dependiendo del diámetro, la longitud y si estos eran cementados con cementos resinosos.

En otro estudio como el de Li Li-li²⁹ y colaboradores en 2006, a través del análisis de elementos finitos 3D, evaluaron la distribución de los esfuerzos de un incisivo central maxilar, restaurado con poste de titanio y con cementos de diferentes módulos de elasticidad (cemento de ionómero, poliacrilato de zinc, cemento de fosfato de zinc, cemento resinoso Panavia F), afirman que el incremento del módulo de elasticidad del cemento disminuye el valor del esfuerzo en la dentina, lo cual valida el principio que el módulo de elasticidad es en efecto uno de los parámetros importantes para evaluar biomecánicamente los agentes cementantes. También estos autores afirman que el cemento con módulo de elasticidad similar a la dentina podría reducir el esfuerzo en la raíz ante fuerzas externas y por ende habría comportamiento biomecánico más favorable reduciendo la incidencia de fractura en la raíz.

Los resultados encontrados en este estudio están de acuerdo con el comportamiento de los postes y de los agentes cementantes relacionados con el módulo de elasticidad como lo plantea Asmussen, Sidoli y Li Li-li, pero no está de acuerdo con conclusiones en las cuales indican que un módulo de elasticidad similar o diferente a la dentina complicaría el pronóstico de una raíz. De acuerdo con lo encontrado en esta investigación se puede analizar cómo se comporta cada modelo en forma independiente, sin embargo el riesgo de fractura de la raíz no se puede deducir de este tipo de estudio, debido a ser un análisis lineal, pero sí se observa tendencia a disminuir el esfuerzo en las tres raíces cuando se aumenta el módulo de elasticidad de los agentes cementantes.

Stress intensification in the cements, from the one of the lowest value (Rely X luting plus), to the Rely X ARC up to the Rely X UNICEM, is proportionate to the elasticity modulus, indicating that the use of cements with greater elasticity modules would have greater clinical implications in combination with posts of lower elasticity modulus, since they reduce stress on the root.

This agrees with the findings by Asmussen¹³ in 2005 and Sidoli²⁸ in 1997, who found out that the stress on the dentin decreases if the elasticity modulus of the post increases, depending on diameter, length, and whether they are cemented with resinous cements.

Other studies, such as the one by Li Li-li²⁹ et al in 2006 who, by means of a 3D finite elements analysis, evaluated stress distribution of a central maxillary incisor restored with titanium post and cements with different elasticity modulus (ionomer cement, zinc polycarboxylate, zinc phosphate cement, resinous cement, Panavia F), demonstrate that increasing the elasticity modulus of cement decreases the stress value at the dentine, validating the principle by which the elasticity modulus is indeed one of the important parameters for biomechanically evaluate cementing agents. These authors also state that cements with elasticity modulus similar to the dentine may reduce stress at the root before external forces and therefore there would be a more favorable biomechanical behavior reducing the incidence of root fracture.

The findings of the present study agree with the behavior of posts and cementing agents related to elasticity modulus, as suggested by Asmussen, Sidoli and Li Li-li, but do not agree with those conclusions that indicate that an elasticity modulus similar or different to the dentine would complicate the prognosis of a root. According to the findings of this study, the individual behavior of each model may be analyzed; however, the risk of fracture at the root may not be deducted from this type of study because it is a linear analysis, but a tendency of decreasing the stress at the three roots may actually be observed when the elasticity modulus of the cementing agents is increased.

Hay que considerar que el estudio de LI Li-li, es lineal, en el cual se aplica la fuerza de 100 N, no se consideró límite de fluencia de los materiales ni de los tejidos y el modelo se enfoca en un diente debilitado, por lo que no se pueden extrapolar conclusiones como las que indica de la favorabilidad de ciertos tipo de cementos o de darles propiedades de proteger el sistema, porque de los resultados y metodología de este artículo no se pueden derivar estas conclusiones.

Lanza³⁰ y colaboradores en 2005, concluyeron que los postes de acero son más dañinos para la raíz, causando la fractura y que el agente cementante no mejora la distribución de los esfuerzos debido a la alta rigidez del poste. En el poste de carbono, el módulo de elasticidad del cemento influye significativamente en la capacidad del sistema en la absorción de los esfuerzos. Y finalmente concluyen que el módulo de elasticidad alto para el agente cementante y para el poste es perjudicial para todo el sistema del diente ya que no permite la distribución homogénea de los esfuerzos.

A pesar de la explicación que estos autores hacen, faltan datos en su artículo para hacer el análisis y una explicación como la que ellos plantean, además hay que considerar también que es un estudio lineal, por lo cual no se puede considerar que un sistema sea superior al otro y aunque se ha comprobado que en un sistema más rígido la distribución de los esfuerzos es heterogénea, en nuestra investigación se puede observar que los esfuerzos recibidos en la raíz en los tres tipos de sistemas son similares, por lo cual en un estadio lineal, no se podría hablar de posibilidad de fractura o sistema dañino para un diente.

El resultado de nuestra investigación valida la importancia del módulo de elasticidad en los materiales dentales para hacer una evaluación del comportamiento biomecánico en la interface poste/cemento/dentina. Este estudio de MEF es útil para analizar la distribución de los esfuerzos en el poste, en la raíz y en el cemento de un diente tratado endodóncicamente y rehabilitado con una corona totalmente cerámica, porque permite hacer una observación sobre la distribución de los esfuerzos en los nueve modelos y de la influencia de los diferentes agentes cementantes y de las variables de los postes en los tres sistemas. Es importante anotar que debido a la diferente geometría de los tres sistemas se puede hacer un análisis de su comportamiento individual, pero se debe ser cauteloso en emitir conceptos a favor o en contra de cualquier sistema debido a estas diferencias que existen entre ellos.

It is necessary to consider that the study by LI Li-li is a linear one, applying a force of 100 N, without taking into account the fluency limit of the materials or the tissues, and with a model focused on a weak tooth, so that some conclusions cannot be extrapolated, like the one that indicates favorability of certain types of cements or the ones that assign them properties as system protectors, because the results and the methodology of this article cannot be derived from these conclusions.

In 2005, Lanza³⁰ et al concluded that steel posts are more harmful to the root as they cause fracture, and that the cementing agent does not improve stress distribution due to the extreme rigidity of the post. In carbon posts, the cement's elasticity modulus significantly affects the capacity of the system to absorb stresses. They finally conclude that a high elasticity modulus for both the cementing agent and the post is harmful to the whole tooth's system, as it does not allow homogenous stress distribution.

Although these authors present some explanation, their article lacks data for the analysis and exposition of their propositions; it is also important to consider that theirs is a linear study, and therefore whether one system is superior to the other is something that cannot be judged. Although it has been demonstrated that in a more rigid system stress distribution is heterogeneous, our study shows that stresses received by the root in the three types of systems are similar, and therefore a linear study could not refer to the possibility of fracture or to a system harmful to a tooth.

The results of our study validate the importance of the elasticity modulus in dental materials for the assessment of the biomechanical behavior at the post/cement/dentine interphase. This FEA study allows the analysis of stress distribution in the post, the root and the cement of an endodontically-treated tooth restored with a crown totally made of ceramics because it enables observation of stress distribution in nine models, as well as the influence of the different cementing agents and the variables of the posts in the three systems. It is important to note that, due to the different geometry of the three systems, an analysis of their individual behavior may be made, but one should be cautious when expressing concepts pro or against any of the systems due to the differences among them.

Hay variables clínicas no asumidas en estos modelos, como la falta de homogeneidad que se pueden presentar en los agentes cementantes, como se muestra en el estudio de Watzke y colaboradores, en 2008,³¹ que se atribuye una diferencia en la metodología de cementación y esto podría generar diferencias en el comportamiento clínico, lo cual no fue considerado en estos modelos. También se asume que podría haber diferencias en la adhesión y resistencia al desalojo de los postes, según el material, si es colado o de fibra de vidrio, como lo plantea Kremeier y colaboradores en 2008,³² aunque su estudio no logró demostrar estas diferencias. Kececi y colaboradores en 2008,³³ en otro estudio, evaluaron adhesión, mostrando diferencias en los cementos, pero solo evaluaron postes de fibra de vidrio y Edermir en otro estudio en 2010³⁴ encontró favorabilidad del uso de postes de fibra de vidrio sobre los de fibra de carbono, pero no diferencias de adhesión entre los cementos. Por lo encontrado en estos estudios, se asumió, en esta investigación, que la adhesión es similar en los tres modelos y lo que se encontró en los resultados de los esfuerzos de corte es que en los modelos con postes más rígidos, se concentran más los esfuerzos en el espigo que en el mismo muñón, generando mayor fuerza de desalojo en estos mismos, diferente a los postes de fibra de vidrio.

Schmitter M y colaboradores en 2010,³⁵ les dan importancia a los cementos resinosos para que la unión del poste y su efecto de férula funcione adecuadamente, contrario a lo que pasaría con los cementos convencionales, como por ejemplo ionómeros. En esta investigación no se consideró esta diferencia en adhesión que podría darse a favor o en contra de alguno de los cementos.

Dejak B y colaboradores en 2011,³⁶ plantean que los postes colados transmiten menos esfuerzo a los cementos y a la dentina que el poste de fibra de vidrio, conclusiones que están de acuerdo con este estudio, la diferencia es que ellos usaron un solo cemento y las propiedades de los postes de mayor módulo de elasticidad fueron diferentes como el de fibra de vidrio. Sin embargo, a pesar de estas diferencias, los resultados de ambos estudios, dan una explicación similar a este tipo de restauraciones.

Es importante hacer un estudio en el cual se pueda comparar el comportamiento de los cementos con un módulo de elasticidad más alto como es el caso del cemento fosfato de zinc. El análisis de los esfuerzos bajo esta condición experimental podría proveer algunas guías para la práctica clínica.

There are clinical variables not included in these models, as the lack of homogeneity that may occur in the cementing agents, as shown in the study by Watzke et al in 2008,³¹ that may be due to a difference in the cementation methodology, which could generate clinical behavior differences and this was not considered in these models. It has also been considered that there may be differences in terms of adherence and resistance to the posts removal, according to their material, either cast or fiberglass, as Kremeier et al stated in 2008,³² although their study failed to demonstrate these differences. In another study, Kececi et al in 2008³³ evaluated adherence showing differences among the cements, but they only evaluated fiberglass posts, and yet in another study, in 2010 Edermir³⁴ found advantages in the use of fiberglass posts over carbon fiber posts, but he did not find adhesive differences among the cements. Following the findings of those studies, this project assumed that adherence is similar in the three models, and the findings concerning shear stresses revealed that the models with more rigid posts concentrate more in the stresses at the pin than at the core itself, generating a greater strength of removal—differently to the fiberglass posts.

Schmitter M et al, 2010,³⁵ consider resinous cements important for the adequate functioning of the post bonding and its ferrule effect, contrary to what would happen with conventional cements, such as ionomer. This study did not consider such adhesive difference, which could either favor or discredit any of the cements.

Dejak B et al, 2011,³⁶ suggest that cast posts transmit less stress to the cements and the dentine than fiberglass posts, thus agreeing with this study; the difference is that they used a single cement and the properties of the posts of higher elasticity modulus were different, such as the one of fiberglass. Nevertheless, regardless of these differences, both studies give a similar explanation to this kind of restorations.

It is important to perform a study that can compare the behavior of cements with higher elasticity modulus, such as zinc phosphate cement. The analysis of stresses under this experimental condition may provide some guidelines for the clinical practice.

CONCLUSIONES

Con las limitaciones de este estudio, se dan las siguientes conclusiones:

- Los modelos con postes colados y postes de titanio tienen comportamiento similar en la concentración de esfuerzos von Mises, diferentes a los modelos con postes de fibra de vidrio.
- Aunque hay diferencia en el comportamiento cuando el poste es rígido o flexible, la diferencia de los esfuerzos transmitidos a la raíz en los tres sistemas no es notoria.
- La influencia del material de cementación está determinada por su módulo de elasticidad, cuando este es mayor, tiene más importancia en todo el sistema.

CORRESPONDENCIA

Federico Latorre Correa

Correo electrónico: flatorre@une.net.co

Celular 314 791 45 98

Julio C. Escobar Restrepo

Correo electrónico: jcer75@yahoo.com

Celular 300 811 92 59

Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia

Calle 64 N.º 52-59

Medellín, Colombia.

CONCLUSIONS

Although with some limitations in this study, the following conclusions may be drawn:

- Models with cast posts and titanium posts have similar behavior for the concentration of von Mises stresses, differently to the models with fiberglass posts.
- Although some difference occurs whether the post is rigid or flexible, the difference of the stresses transmitted to the root in the three systems is not noticeable.
- The influence of the cementation material is determined by its elasticity modulus. The higher it is, the more importance it has in all the system.

CORRESPONDING AUTHORS

Federico Latorre Correa

E-mail address: flatorre@une.net.co

Celular 314 791 45 98

Julio C. Escobar Restrepo

E-mail address: jcer75@yahoo.com

Celular 300 811 92 59

Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia

Calle 64 N.º 52-59

Medellín, Colombia

REFERENCIAS / REFERENCES

1. Braga R, Cesar PF, Gonzaga CC. Mechanical properties of resin cements with different activation modes. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 257-262.
2. Yang B, Ludwig K, Adelung R, Kern M. Micro-tensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. *Dent Mater* 2006; 22: 45-56.
3. The Academy of Prosthodontics. The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 2005; 94(1): 21-38.
4. Rosentiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: a review of the current literature. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 280-301.
5. White SN, Yu Z, Yom JF, Sangsurarak S. In vivo marginal adaptation of cast crowns luted with different cements. *J Prosthet Dent* 1995; 74: 25-32.
6. Pegoraro T, da Silva N, Carvalho R. Cements for use in esthetic dentistry. *Dent Clin N Am* 2007; 51: 453-471.
7. Donovan TE, Becker W, Brodine AH, Burgess JO, Cronin RJ, Summith JB. Annual review of selected dental literature: Report of the Committee on Scientific Investigation of the American Academy of Restorative Dentistry. *J Prosthet Dent* 2007; 98: 36-67.
8. Davidson CL, Mjor IA. Advances in glass ionomer cement. *Quintessence* 1999; 41-43.
9. Ergin S, Gemalmaz D. Retentive properties of five different cements on base and noble metal copings. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 491-497.
10. Díaz-Arnold AM, Vargas MA, Haselton DR. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent* 1999; 81(2): 135-141.
11. Ceballos L, Garrido M, Fuentes V, Rodríguez J. Mechanical characterization of resin cements used for luting fiber posts by nanoindentation. *Dent Mater* 2007; 23: 200-205.

12. Munck J, Vargas M, Van Landuy K, Hikita K. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater* 2004;20: 963-971.
13. Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite elements analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. *J Prosthet Dent* 2005; 94: 321-329.
14. Peláez A, Mejía S. Conceptos básicos de modelación matemática y simulación computacional de sistemas biológicos. Una herramienta útil para la docencia y la investigación. *Ces Odontol* 2000;13: 51-55.
15. Root canal anatomy: an online study guide. JOE Editorial Board [Corporate Author]. *J Endod* 2008; 34(5) supl: e7-e16.
16. Moyer R, Bookstein F, Hunter WS. Analysis of the craniofacial skeleton: Cefalometrics. In: *Handbook of orthodontics*. 4.^a ed. Ann Arbor: Year book medical;1988. p. 247-301.
17. Reinhardt RA, Krejci RF, Pao YC, Stannard JG. Dentin stress in post-reconstructed teeth with diminishing bone support. *J Dent Res* 1983; 62: 1002-1018.
18. Heoung-Jae Chun, Ha-Shik Shin, Chong-Hyun Han, Soo-Hong Lee. Influence of implant abutment type on stress distribution in bone under various loading conditions using finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006; 21: 195-202.
19. Ivoclar Vivadent. IPS e. Max. Ficha técnica.
20. Ivoclar Vivadent. IPS e. Maxpress. Ficha técnica.
21. Maceri F, Martignoni M, Vairo G. Mechanical behavior of endodontic restorations with multiple prefabricated post: A finite element approach. *J Biomech* 2006; 40(11): 2386-2398.
22. Torbjorner A, Franssén B. A literature review on the prosthetic treatment of structurally compromised teeth. *Int J Prosthodont* 2004; 17: 369-376.
23. Coltene/Whaledent. Post[®]. Ficha técnica.
24. 3M ESPE. Rely[™] luting cement. Ficha técnica.
25. 3M RelyX[™] ARC. Cemento de resina adhesivo. Perfil técnico del producto.p.1-44. Ficha técnica.
26. 3M ESPE. RelyX[™]UNICEM. Aplicap[™]/Maxicap[™]. Cemento autoadhesivo universal de resina. Ficha técnica.
27. Turner CH, Cowin SC, Rho Young J, Ashman RB, Rice J. The fabric dependence of the orthotropic elastic constants of cancellous bone. *J Biomechanic* 1990;23:549-561.
28. Sidoli GE, King PA, Setchell D. An in vitro evaluation of a carbon fiber-based and core system. *J Prosthet Dent* 1997; 78: 5-9.
29. Li-li L, Zhong-yi W, Zhong-cheng B, Yong M, Bo G, Haitao X, Bing Z, Yong Z, Bing L. Three-dimensional finite element analysis of weakened roots restored with different cements in combination with titanium alloy posts. *Chin Med J* 2006; 119(4): 305-311.
30. Lanza A, Aversa R, Rengo S, Apicella D, Apicella A. 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. *Dent Mat* 2005; 21: 709-715.
31. Watzke R, Blunck U, Frankenberger R, Naumann M. Interface homogeneity of adhesively luted glass fiber post. *Dent Mat* 2008; 4: 1512-1517.
32. Kremeier K, Fasen L, Klaiber B, Hofmann N. Influence of endodontic post type (glass fiber, quartz fiber or gold) and luting material on push-out bond strength to dentin in vitro. *Dent Mat* 2008; 4: 660-666.
33. Kececi AD, Kaya U, Adanir N. Micro push-out bond strengths of four-reinforced composite post systems and 2 luting materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 105: 121-128.
34. Edermir U, Mumcu E, Topcu FT, Yildiz E. Micro push-out bond strengths of 2 fiber post types luted using different adhesive strategies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010; 110: 534-544.
35. Schmitter M, Rammelsberg P, Lenz J, Scheuber S, Schweizerhof K, Rues S. Teeth restored using fiber-reinforced posts: In vitro fracture tests and finite element analysis. *Acta Biomaterialia* 2010; 6: 3747-3754.
36. Dejak B, Młotkowski A. Finite element analysis of strength and adhesion of cast post compared to glass fiber-reinforced composite resin post in anterior teeth. *J Prosthet Dent* 2011; 105: 115-126.