

---

# EVALUACIÓN EX VIVO DE LA RETENCIÓN DE ESTRUCTURAS EN ZIRCONIA-YTRIA DE PROCERA® CON DIFERENTES CEMENTOS<sup>1</sup>

## EX VIVO EVALUATION OF THE RETENTION OF PROCERA® ZIRCONIA-YTRIA SYSTEMS WITH DIFFERENT CEMENTS<sup>1</sup>

RICHARD MILTON MEJÍA BRAVO<sup>2</sup>, CARLOS BERNARDO CAPARROSO PÉREZ<sup>3</sup>, XIOMARA CRISTINA RUIZ RESTREPO<sup>4</sup>, JOSÉ FERNANDO ESPITIA MESA<sup>4</sup>, JENNY ALEXANDRA MORENO CASTILLO<sup>5</sup>, ANDRÉS FELIPE MONTOYA SEPÚLVEDA<sup>5</sup>

**RESUMEN. Introducción:** en tanto no se encuentra en la literatura un protocolo fundamentado de cementación para restauraciones elaboradas en zirconia-ytria, el propósito de este estudio fue evaluar ex vivo la retención por resistencia friccional de estructuras de zirconia-ytria, Procera®, cementadas con cuatro materiales como el Ketac cem (3M ESPE), el Multilink Automix (Ivoclar Vivadent), el Panavia F 2.0 (Kuraray) y el RelyX U100 (3M ESPE), sobre dientes naturales. **Métodos:** se obtuvieron 40 terceros molares recientemente extraídos, los cuales fueron desinfectados con NaOCl al 0,5%, y almacenados en solución salina, embebidos en resina acrílica y tallados con ángulo de convergencia de 10° por pared, tallado axial con profundidad de 1,5 mm y altura de 4 mm. Se tomaron impresiones con Aquasil Ultra® Dentsply y vaciadas con yeso tipo IV, para hacer 40 estructuras Procera AllZircon (Nobel Biocare). Se cementaron 10 muestras por cada material y fueron termocicladas x 5.000 ciclos de 15 s. Luego fueron traccionadas con una máquina de pruebas universal y se analizaron los tipos de fallas en las diferentes interfases. Se hizo análisis estadístico ANOVA de una vía y análisis de rangos múltiples. **Resultados:** los valores promedio de retención en Newtons fueron de 440 N para el Ketac cem, de 698 N para el Multilink Automix, de 686 N para el Panavia F 2.0 y de 551 N para el RelyX U100. La falla adhesiva a la dentina se presentó en el 53,8%, seguido por la falla mixta, con el 12,82%. **Conclusiones:** los cementos resinosos con monómeros de fosfato ácidos reportan valores superiores en la retención en comparación con cementos convencionales tipo ácido-base. La adhesión a dentina y la manipulación de los cementos pueden influir en el resultado final.

**Palabras clave:** porcelana dental, cementos dentales, retención de la prótesis.

Mejía RM, Caparroso CB, Ruiz XC, Espitia JF, Moreno JA, Montoya AF. Evaluación ex vivo de la retención de estructuras en zirconia-ytria de Procera® con diferentes cementos. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2014; 26(1): 44-61.

---

**ABSTRACT. Introduction:** since the specialized literature does not report reliable protocols for cementing zirconia-ytria restorations, the purpose of this study was to perform an ex vivo assessment of the retention by frictional strength of Procera® zirconia-ytria systems cemented with four materials: Ketac Cem (3M ESPE), Multilink Automix (Ivoclar Vivadent), Panavia F 2.0 (Kuraray), and RelyX U100 (3M ESPE) on natural teeth. **Methods:** We gathered 40 recently extracted third molars, which were disinfected with 0.5% NaOCl and stored in saline solution, embedded in acrylic resin, and cut at a 10° convergence angle per wall with an axial carving of 1.5 mm in depth and 4 mm in height. Impressions were taken with Aquasil Ultra® Dentsply and cast with type IV plaster, obtaining 40 Procera AllZircon (Nobel Biocare) structures. 10 samples per material were cemented and thermocycled x 5,000 cycles of 15 s. They were then tractioned with a universal testing machine and failure types at the different interfaces were analyzed. One-way multiple-range ANOVA statistical analysis was performed. **Results:** average retention values in Newtons were 440 N for Ketac Cem, 698 N for Multilink Automix, 686 N for Panavia F 2.0, and 551 N for RelyX U100. Dentin adhesion failure occurred in 53.8% of cases, followed by mixed failure, with 12.82%. **Conclusions:** resinous cements with acid phosphate monomers reported higher retention values in comparison with conventional acid-base cements. Adherence to dentin and cement handling can affect the final result.

**Key words:** dental porcelain, dental cements, denture retention.

Mejía RM, Caparroso CB, Ruiz XC, Espitia JF, Moreno JA, Montoya AF. Ex vivo evaluation of the retention of Procera® zirconia-ytria systems with different cements. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2014; 26(1): 44-61.

- 
- 1 Investigación con moción de felicitación y exaltación pública de méritos por haber obtenido el primer puesto en las Jornadas de Investigación de Posgrados el 11 de agosto de 2011.
  - 2 Odontólogo, especialista en Odontología Integral del Adulto con énfasis en Prosthodontia. Profesor asistente, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia.
  - 3 Odontólogo, especialista en Odontología Integral del Adulto con énfasis en Prosthodontia. Profesor asociado, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia.
  - 4 Estudiantes de posgrado en Odontología Integral del Adulto con énfasis en Prosthodontia, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia.
  - 5 Estudiantes de pregrado. Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia.

RECIBIDO: MARZO 13/2012-ACEPTADO: AGOSTO 27/2013

- 
- 1 Research project awarded with a congratulations note and Public Distinction of Merits for ranking first during the Graduate Research Day. August 11, 2011.
  - 2 Dentist, Specialist in Comprehensive Dentistry for Adults with a focus on Prosthodontics. Associate Professor, School of Dentistry, Universidad de Antioquia.
  - 3 Graduate students, Comprehensive Dentistry for Adults with a focus on Prosthodontics. School of Dentistry, Universidad de Antioquia.
  - 4 Graduate students Comprehensive Dentistry of Adults with emphasis in Prosthodontics, School of Dentistry, Universidad de Antioquia.
  - 5 Undergraduate students, School of Dentistry, Universidad de Antioquia.

SUBMITTED: MARCH 13/2012-ACCEPTED: AUGUST 27/2013

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, para satisfacer el aumento en los requerimientos estéticos de nuestros pacientes, se han generado restauraciones indirectas completamente cerámicas con propiedades ópticas y estéticas que las hacen muy parecidas a un diente natural.<sup>1</sup>

Gracias al avance y al desarrollo de los materiales cerámicos dentales, se han creado diferentes sistemas para su utilización en la elaboración de restauraciones libres de metal. Existen técnicas de colado e inyección, de infiltración, y las desarrolladas con tecnología CAD/CAM que permiten hacer restauraciones cuyo diseño y elaboración son asistidos por computador. Estos sistemas tienen diferentes aplicaciones en el campo de la prosthodoncia y se pueden utilizar con diversos materiales, uno de ellos es la zirconia parcialmente estabilizada con yttria, material altamente resistente, utilizado para la elaboración de prótesis parciales fijas (PPF).<sup>2-6</sup> En la actualidad, el maquinado de este material es posible por medio de sistemas comerciales como el Procera AllZircon® (Nobel Biocare).<sup>5, 6</sup>

Las restauraciones totalmente cerámicas aumentan su retención de manera mecánica, de acuerdo con las preparaciones dentarias, micromecánica, por la modificación de la superficie con arenado, grabado con ácido o química por el uso de silanos y de agentes cementantes, los cuales mantienen unida la restauración al diente.<sup>2, 7</sup> Con el paso del tiempo, se han incorporado modificaciones en la estructura y en las reacciones químicas de los cementos dentales, que han mejorado las propiedades físicas, pasando de los cementos convencionales tipo ácido-base, como el fosfato de zinc y los ionómeros de vidrio, a los cementos resinosos de última generación.<sup>2, 8-15</sup>

En la actualidad, el proceso de cementación de las restauraciones de zirconia parcialmente estabilizada con yttria se hace con agentes cementantes convencionales, o con sistemas adhesivos de diferentes presentaciones comerciales.<sup>16-27</sup>

## INTRODUCTION

In order to cope with the current increase in patients' aesthetic needs, all-ceramic indirect restorations have been developed, supplied with optical and aesthetic properties which make them very similar to natural teeth.<sup>1</sup>

Thanks to the advances in dental ceramic materials, several systems have been developed for manufacturing metal-free restorations. Techniques such as casting and injection, infiltration, and those developed with CAD/CAM technology allow designing and developing restorations with the help of computers. These systems offer diverse applications in prosthodontics and may be made with different materials, one of them being Yttrium-partially stabilized zirconium, a highly resistant material commonly used to produce fixed partial dentures (FPDs).<sup>2-6</sup> Currently, manufacturing this material is possible thanks to commercial systems like Procera® AllZircon (Nobel Biocare).<sup>5, 6</sup>

All-ceramic restorations improve retention in a mechanical way, in accordance with dental preparation, including micromechanics, surface modification by sandblasting, or acid/chemical etching with silanes and cementing agents, which hold together restoration and tooth.<sup>2, 7</sup> Over time, changes in dental cements' structure and chemical reactions have been implemented, improving their physical properties and going from conventional acid-base cements, such as zinc phosphate and glass ionomers, to resinous cements of the latest generation.<sup>2, 8-15</sup>

Currently, zirconia restorations partially stabilized with yttria are usually cemented with conventional luting agents or adhesive systems in different commercial presentations.<sup>16-27</sup>

Algunos autores señalan que las estructuras de zirconia no requieren cementación adhesiva.<sup>28</sup> Otros estudios *in vitro* han evaluado la resistencia de unión entre los sistemas adhesivos con Bis-GMA y las estructuras de zirconia-ytria con tratamiento superficial, mediante partículas de vidrio incorporadas al aire de presión (arenado), más la aplicación de silano. Luego de simular el envejecimiento mecánicamente, la unión fallaba de manera espontánea.<sup>29-33</sup> Se concluyó que solo los cementos resinosos con fosfato modificado, como el Panavia F 2.0, proveían la unión duradera a las restauraciones de zirconia. Esto se confirmó en un estudio a largo plazo, en el cual los especímenes fueron almacenados por dos años con la aplicación de termociclado.<sup>32</sup> Se ha recomendado la combinación del tratamiento superficial con arenado más la aplicación de cementos resinosos que contengan el monómero 10-Methacryloyloxy-decyl dihydrogenphosphate (MDP) para obtener una unión duradera a largo plazo con la zirconia-ytria.<sup>31</sup> Sin embargo, otras investigaciones no reportaron valores superiores de retención en las estructuras de zirconia, en las que se usó cemento resinoso que contenía MDP.<sup>34-37</sup>

Teniendo en cuenta la importancia de los agentes cementantes para la odontología restauradora, y que no existe un protocolo establecido para la cementación de restauraciones hechas con zirconia-ytria, el propósito de este estudio fue evaluar *ex-vivo* la retención por resistencia friccional de estructuras de zirconia-ytria, Procera® cementadas con cuatro agentes cementantes, como el Ketac cem (3M ESPE), el Multilink Automix (Ivoclar Vivadent), el Panavia F 2.0 (Kuraray) y el RelyX U100 (3M ESPE), sobre dientes naturales. Además, se pretendió determinar el tipo de falla que se presenta en las diferentes interfases de la cementación.

## MÉTODOS

Este es un estudio experimental *ex vivo*, cuya muestra constaba de 40 terceros molares superiores e inferiores de reciente extracción, con adecuada estructura dentaria remanente y raíces divergentes. Luego de extraídos

Some authors point out that zirconia structures do not require adhesive cementation.<sup>28</sup> Other *in vitro* studies have assessed bond strength among adhesive systems with Bis-GMA and zirconia-ytria systems with surface treatment through glass particles incorporated to air pressure (sandblasting) plus silane application. After mechanically simulating aging, bonding has spontaneously failed.<sup>29-33</sup> Therefore, it has been concluded that resin cements with modified phosphate—such as Panavia F 2.0—are the only ones that provide zirconia restorations with long-lasting bonding. This was confirmed in a long-term study, in which samples were stored for two years using thermal cycling.<sup>32</sup> It has been recommended to combine surface treatment with sandblasting and the application of resin cements containing the monomer 10-Methacryloyloxy-decyl dihydrogenphosphate (MDP) to obtain long-lasting bonding to zirconia-ytria.<sup>31</sup> However, other studies fail to report higher retention values in zirconia structures treated with resinous cement containing MDP.<sup>34-37</sup>

Taking into account the importance of cementing agents for restorative dentistry, and given the lack of an established protocol for cementing zirconia-ytria restorations, the purpose of this study was to perform an *ex vivo* assessment of retention by frictional strength of Procera® zirconia-ytria systems cemented with four luting agents: Ketac Cem (3M ESPE), Multilink Automix (Ivoclar Vivadent), Panavia F 2.0 (Kuraray) and RelyX U100 (3M ESPE) on natural teeth. In addition, this study intended to determine the type of failure occurring at different cementing interfaces.

## METHODS

This was an *ex vivo* experimental study on a sample of 40 recently extracted third upper and lower molars, with adequate remaining tooth structure and divergent roots. Following extraction, the samples

se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 0,5%, y durante todo el proceso fueron guardados en un recipiente con tapa en solución salina a temperatura ambiente. Las raíces se perforaron para la retención y embebieron en acrílico, se ubicaron verticalmente con la unión cementoamélica, situada 1 mm arriba del molde de silicona de 1 cm de ancho por 2,5 cm de alto. Los dientes se tallaron con fresas de diamante troncocónicas de grano verde, con ángulo de convergencia de 10° por paredes, convergencia oclusal total COT 20°, tallado axial de 1 a 1,5 mm y altura de 4 mm. Cada tallado se hizo con una fresa nueva, y un operador estandarizado. Se tomaron impresiones del diente con cubetas acrílicas de 25 x 19 mm, previa aplicación de adhesivo en la superficie interna de los moldes. El material de impresión utilizado fue polivinilsiloxano en consistencia liviana y pesada (Aquasil Ultra®, Dentsply), en técnica de un paso, según las instrucciones del fabricante. Las impresiones se vaciaron con yeso tipo IV (Elite Rock, Zhermack) (figura 1).

were disinfected with 0.5% sodium hypochlorite, and throughout the process they were kept in a closed container with saline solution at room temperature. The roots were cut for retention and vertically embedded in acrylic, with the cemento-enamel junction located 1 mm above the silicone mold of 1 cm wide by 2.5 cm high. The teeth were cut with troncoconical green grain diamond burs, at a convergence angle of 10° per wall, total occlusal convergence of 20° COT, axial carving of 1 to 1.5 mm and 4 mm in height. Each cut was made with a new bur and by a standardized operator. Tooth impressions were taken on 25 x 19 mm acrylic trays after applying an adhesive substance on the mold's inner surface. Polyvinylsiloxane was used as impression material in both light and heavy consistency (Aquasil Ultra®, Dentsply), using one-step technique according to the manufacturer's instructions. The impressions were emptied on type IV plaster (Elite Rock, Zhermack) (figure 1).

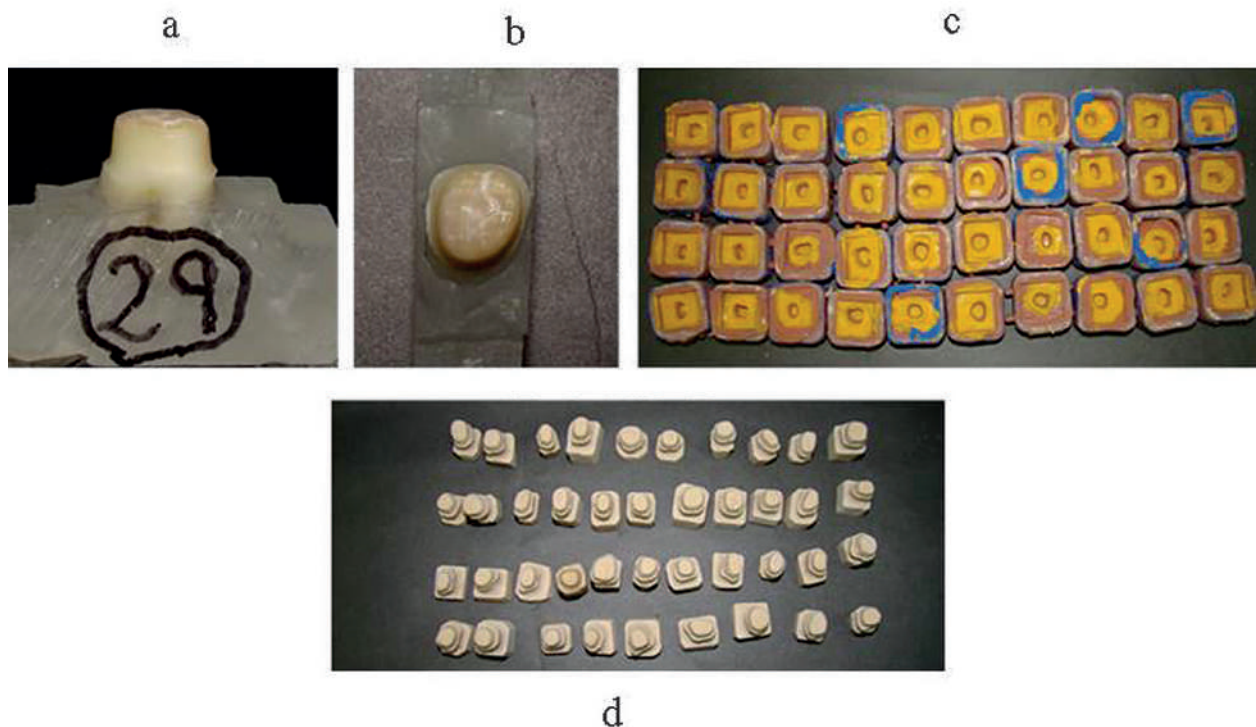


Figura 1. a) y b) tallados preprotésicos, c) impresiones en silicona, d) troqueles despejados

Figure 1. a) and b) pre-prosthetic carvings, c) silicone impressions, d) clear dies

Luego de vaciado, el molde maestro se escaneó con el equipo Procera-Forte® de Nobel Biocare, transfiriendo la información electrónicamente para su producción. El diseño propuesto para las estructuras se definió con un espesor oclusal mayor que el normal, ya que la superficie coronal se aumentó en forma de cilindro de 10 mm y con espesor de 5 mm; las paredes axiales tenían espesor de 0,6 mm. Este diseño se enceró y se escanearon las preparaciones y el encerado. Los datos se procesaron en el *software* de Procera 2.0 (figura 2). Las estructuras se fresaron y sinterizaron según el protocolo de fabricación para coronas individuales de Nobel Biocare.

After emptying, the master mold was scanned on a Nobel Biocare Procera-Forte® equipment, transferring electronic information for its production. The design of the proposed structure included occlusal thickness larger than normal, since the coronal surface was increased in the form of a 10 mm cylinder of 5 mm in thickness; the axial walls were 0.6 mm thick. This structure was waxed and both preparations and waxing were scanned. Data were processed in the Procera 2.0 software (figure 2). Structures were burred and sintered according to the manufacturer's protocol for individual Nobel Biocare crowns.

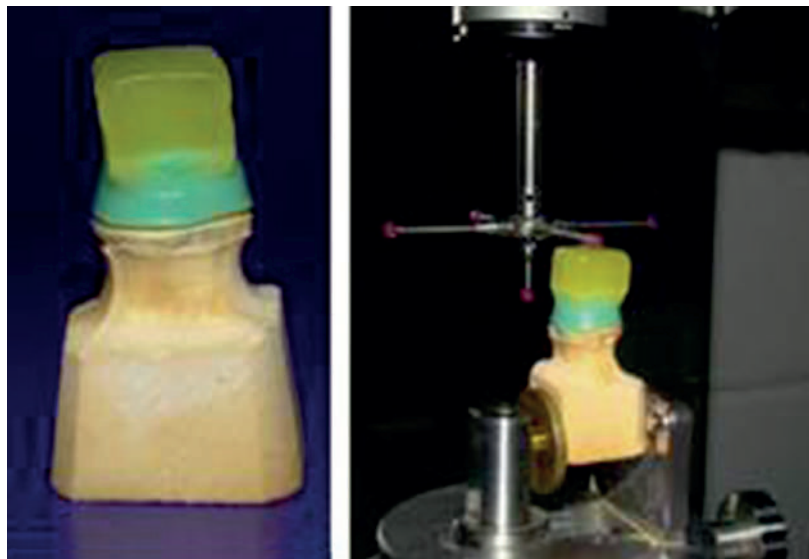


Figura 2. Encerado de la estructura con el equipo Forte de Nobel Biocare

Figure 2. Waxing with a Nobel Biocare Forte equipment

Para la cementación, los dientes se limpiaron con solvente orgánico. Tanto los dientes como sus estructuras se distribuyeron aleatoriamente en grupos de 10 dientes para los 4 cementos de estudio, de la siguiente manera: grupo 1 (control) ionómero de vidrio (*Ketac cem 3M ESPE*), grupo 2, cemento resinoso de curado dual autograbadador *Multilink* (Ivoclar Vivadent), grupo 3, cemento resinoso de curado dual autograbadador *con MDP Panavia F 2.0* (Kuraray) y grupo 4, cemento resinoso de curado dual autograbadador *RelyX U100* (3M ESPE).

Before cementation, the teeth were cleansed with an organic solvent. Teeth and their structures were randomly distributed in groups of 10 teeth per the 4 cements under study, as follows: group 1 (control), glass ionomer (*Ketac Cem 3M ESPE*), group 2, *Multilink* (Ivoclar Vivadent) self-etching dual-curing resinous cement, group 3, *Panavia F 2.0* (Kuraray) self-etching dual-curing resinous cement with MDP, and group 4, *RelyX U100* (3M ESPE) self-etching dual-curing resinous cement.

Se llevó el cemento preparado, según las instrucciones del fabricante, a las estructuras, las cuales se pusieron en los dientes aplicando fuerza axial para asentarlas de 100 g, medidos con un dispositivo digital. Se aplicó la barrera de oxígeno, si así lo indicaba la casa fabricante, y se retiraron los excesos de cemento. Los especímenes de los grupos 2, 3 y 4 se fotopolimerizaron con una lámpara de alta intensidad (BluePhase, Ivoclar Vivadent) a  $1.100 \text{ mW/cm}^2$ , durante 40 s por cada lado y a temperatura ambiente (figura 3). Posteriormente se guardaron en un recipiente con agua a  $34^\circ \text{C}$  x 24 h y se sometieron a ciclos térmicos en agua de  $5$  y  $55^\circ \text{C}$  x 5.000 ciclos con intervalos de 15 s.

Following the manufacturer's instructions, the prepared cementing agent was applied onto the structures, which were placed on teeth by applying 100 g of axial force in order to fix them; this force was measured with a digital device. An oxygen barrier was applied—if indicated by the manufacturer—and cement deposits were removed. Samples in groups 2, 3 and 4 were photopolymerized with a high intensity lamp (BluePhase, Ivoclar Vivadent) to  $1,100 \text{ mW/cm}^2$  for 40 seconds on each side and at room temperature (figure 3). They were later stored in a container with water at  $34^\circ \text{C}$  for 24 h and subjected to thermal cycles in water at  $5$  and  $55^\circ \text{C}$  x 5.000 cycles with intervals of 15 seconds.



Figura 3. Secuencia de cementación

Figure 3. Cementation sequence

Usando una máquina de ensayos de tracción y compresión (Digimess TC500), del departamento de pruebas de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, las muestras se sometieron a fuerzas de desalojo a lo largo del eje axial del diente hasta la falla (figura 4). El tipo de falla se evidenció mediante un microscopio óptico con magnificación total de 40 aumentos. Se registró la retención como la fuerza de tracción en Newtons (N), y los tipos de fallas de acuerdo con lo establecido en la tabla 1.

Using a traction/compression testing machine (Digimess TC500) owned by the Material Testing Department of Universidad de Antioquia School of Engineering, the samples were subjected to evacuation forces along the teeth's axial axis until failure (figure 4). Failure types were observed through an optical microscope with magnification of 40 increases. Retention was measured as traction force in Newtons (N) and failure types were recorded as shown in table 1.

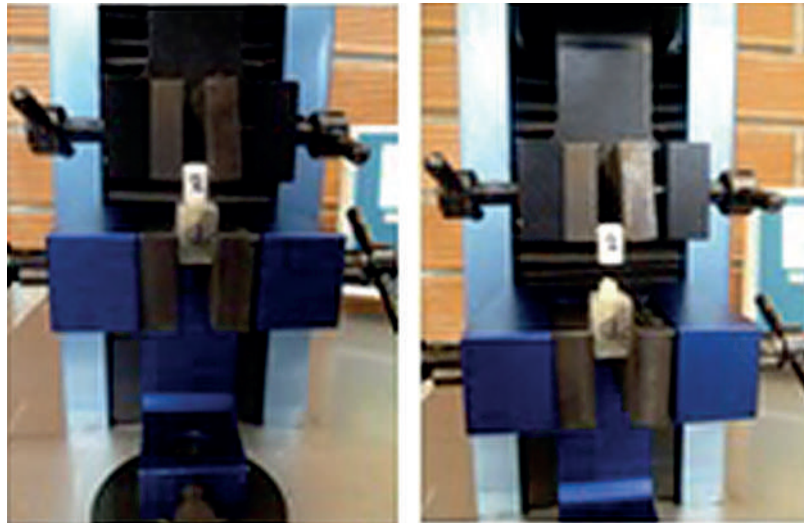


Figura 4. Prueba de tracción con máquina universal de pruebas

Figure 4. Traction test with a Universal Testing Machine

Tabla 1. Caracterización del tipo de falla

Descripción	Naturaleza
Cemento principalmente en la estructura de zirconia (< ¾ en la estructura Yzir)	Adhesiva
Cemento principalmente en la estructura dental (< ¾ en la estructura dental)	Adhesiva
Fractura del diente	Cohesiva
Fractura de la estructura de zirconia-ytria	Cohesiva
Cemento en ambos sustratos (50 y 50%)	Mixta

Se entrenó previamente a uno de los investigadores para la manipulación de los cementos, siguiendo las instrucciones de cada casa comercial, por medio de una prueba piloto, utilizando dos muestras adicionales para la estandarización del protocolo de manipulación. Además, se estandarizó intraoperador para las variables de retención y tipo de falla de acuerdo con lo establecido.

Esta información se llevó a una base de datos en Excel® y su análisis estadístico se hizo en el software SPSS® versión 17, propiedad de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia, para lo cual se hicieron pruebas de homogeneidad de ANOVA de un factor y prueba exacta de Fisher.

Table 1. Failure type characterization

Description	Nature
Cement mainly in the zirconia structure (< ¾ in the Yzir structure)	Adhesive
Cement mainly in the tooth structure (< ¾ in tooth structure)	Adhesive
Tooth fracture	Cohesive
Fracture of the zirconia-ytria structure	Cohesive
Cement on both substrates (50-50%)	Mixed

One of the researchers was previously trained in cement manipulation, following each manufacturer's instructions, through a pilot test, using two additional samples for handling protocol standardization. In addition, an intra-operator was standardized on the variables of retention and failure type, according to what had been previously established.

This information was introduced in an Excel® database and its statistical analysis was made with version 17 of SPSS®, owned by Universidad de Antioquia School of Dentistry, conducting one-way ANOVA homogeneity tests and Fisher's exact test.

## RESULTADOS

Para los cementos del estudio Ketac cem, Multilink Automix, Panavia F 2.0 y RelyX U100, se reportaron valores de media de fuerza de retención de 440, 698, 686 y 551N, respectivamente (tabla 2 y figura 5). La prueba de ANOVA para comparar la fuerza en los 4 tipos de cementos, demostró que al menos uno de ellos es diferente de los demás, con valor de  $p = 0,013$  (tabla 3). Adicionalmente, se analizaron los rangos múltiples (Post-hoc), mediante la prueba de Bonferroni, para establecer entre cuáles de los cementos se presentaron las diferencias. Se encontró que solo el Multilink difiere estadísticamente del ionómero de vidrio, mientras que los cementos resinosos no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí (tabla 4).

Tabla 2. Fuerza de retención en N, reportada para cada uno de los cementos de prueba

Grupo	N	Media (Newtons)	Desviación típica
1	10	440,1	202,7
2	10	698,0	174,2
3	10	686,4	173,9

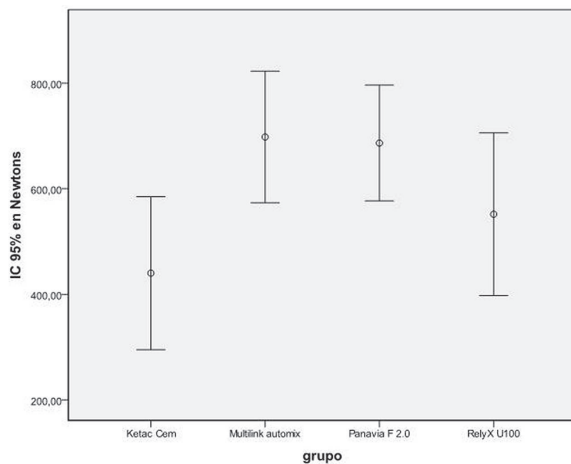


Figura 5. Valores de retención con 4 cementos en estructuras de zirconia

Tabla 3. Prueba de ANOVA para establecer la diferencia estadística entre los cementos

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intergrupos	427.262,7	3	142.420,9	4,1	0,013
Intragrupos	1.092.457,3	32	34.139,2		
Total	1.519.720,1	35			

## RESULTS

The cementing agents under study, Ketac Cem, Multilink Automix, Panavia F 2.0, and RelyX U100, showed average retention force values of 440, 698, 686, and 551 N respectively (table 2 and figure 5). The ANOVA test conducted to compare strength in the four types of cement showed that at least one of them is different from the others, with a value of  $p = 0.013$  (table 3). Also, multiple (post-hoc) ranges were analyzed by means of the Bonferroni test in order to establish the cements in which the differences occurred. It turned out to be that only Multilink statistically differs from glass ionomer, while the resinous cements did not show statistically significant differences with each other (table 4).

Table 2. Retention force in N per cement under study

Group	N	Average (Newtons)	Standard deviation
1	10	440.1	202.7
2	10	698.0	174.2
3	10	686.4	173.9

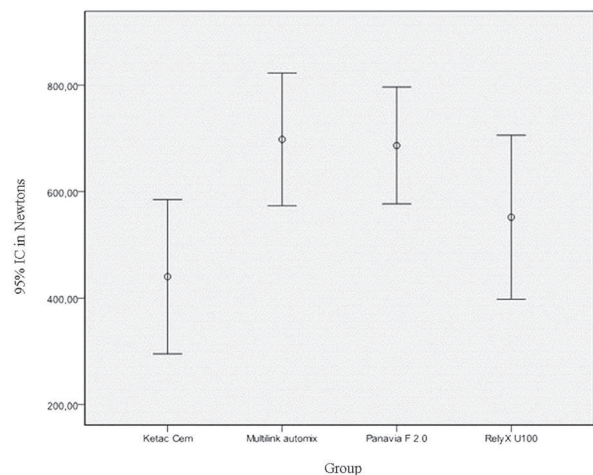


Figure 5. Retention values of 4 cements on zirconia structures

Table 3. ANOVA test to establish statistical differences among cements

	Sum of squares	Gl	Root mean square	F	Sig.
Intergroups	427.262.7	3	142.420,9	4.1	0.013
Intragrupos	1.092.457.3	32	34.139,2		
Total	1.519.720.1	35			



Tabla 4. Prueba de Bonferroni para establecer la diferencia entre grupos de cementos

		(J) grupo		Diferencia de medias (I-J)	Error típico Límite inferior	Sig. Límite superior	Intervalo de confianza al 95%	
							Límite inferior	Límite superior
Dimensión 2	1	Dimensión 3	2	-257,80000*	80,10000	0,017	-482,4	-33,2
			3	-246,30000*	80,10000	0,025	-470,8	-21,7
			4	-111,60000	85,00000	1,000	-349,8	126,5
	2	Dimensión 3	1	257,80000*	80,10000	0,017	33,2	482,4
			3	11,50000	80,10000	1,000	-213,0	236,1
			4	146,10000	85,00000	0,568	-92,0	384,3
	3	Dimensión 3	1	246,31600*	80,16371	0,025	21,7	470,8
			2	-11,50000	80,10000	1,000	-236,1	213,0
			4	134,60000	85,00000	0,735	-103,5	372,8
	4	Dimensión 3	1	111,60000	85,00000	1,000	-126,5	349,8
			2	-146,10000	85,00000	0,568	-384,3	92,0
			3	-134,60000	85,00000	0,735	-372,8	103,5

\* La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

Table 4. Bonferroni test to establish differences among cement groups

		(J) group		Mean difference (I-J)	Typical error Lower limit	Sig. Upper limit	95% confidence interval	
							Lower limit	Upper limit
Dimension 2	1	Dimension 3	2	-257.80000*	80.10000	0.017	-482.4	-33.2
			3	-246.30000*	80.10000	0.025	-470.8	-21.7
			4	-111.60000	85.00000	1.000	-349.8	126.5
	2	Dimension 3	1	257.80000*	80.10000	0.017	33.2	482.4
			3	11.50000	80.10000	1.000	-213.0	236.1
			4	146.10000	85.00000	0.568	-92.0	384.3
	3	Dimension 3	1	246.31600*	80.16371	0.025	21.7	470.8
			2	-11.50000	80.10000	1.000	-236.1	213.0
			4	134.60000	85.00000	0.735	-103.5	372.8
	4	Dimension 3	1	111.60000	85.00000	1.000	-126.5	349.8
			2	-146.10000	85.00000	0.568	-384.3	92.0
			3	-134.60000	85.00000	0.735	-372.8	103.5

\* Mean difference is significant at a score of 0.05.

Los resultados para la caracterización del tipo de falla se presentan en la tabla 5 y en las figuras 6 y 7. El modo predominante de falla fue de tipo adhesivo hacia la superficie dental, con el 53,8%, en segundo lugar se presenta la falla de tipo cohesivo en la estructura de zirconia, con el 17,9%, los otros tipos se presentan en menores porcentajes en el total de la muestra. Cuando se compara en cada cemento, se encuentra que la falla adhesiva a la estructura dental se presenta entre el 40 y el 60%, las demás fallas no se presentan para todos los cementos.

The results concerning failure type characterization are presented in table 5 and figures 6 and 7. The predominant failure type was adhesion to tooth surface, with 53.8%, followed by cohesion to zirconia structure, with 17.9%; other failure types occur in lower percentages within the total sample. When making comparisons within each cement, adhesive failure to tooth structure occurs in 40 to 60%, and the other failure types do not occur in all the cements.

Tabla 5. Tipo de falla en los 4 tipos de cementos

Tipo de falla	Grupo								Total	% en 39 muestras
	1	%	2	%	3	%	4	%		
1	4	40	6	60	5	55,5	6	60	21	53,8
2	1	10	1	10	0	0,0	0	0	2	5,1
3	0	0	1	10	1	11,1	1	10	3	7,6
4	1	10	0	0	3	33,3	3	30	7	17,9
5	3	30	2	20	0	0,0	0	0	5	12,8
6	1	10	0	0	0	0,0	0	0	1	2,5
<b>Total</b>	<b>10</b>		<b>10</b>		<b>10</b>		<b>10</b>		<b>40</b>	

Table 5. Type of failure in the 4 types of cements

failure Type	Group								Total	% in 39 samples
	1	%	2	%	3	%	4	%		
1	4	40	6	60	5	55.5	6	60	21	53.8
2	1	10	1	10	0	0.0	0	0	2	5.1
3	0	0	1	10	1	11.1	1	10	3	7.6
4	1	10	0	0	3	33.3	3	30	7	17.9
5	3	30	2	20	0	0.0	0	0	5	12.8
6	1	10	0	0	0	0.0	0	0	1	2.5
<b>Total</b>	<b>10</b>		<b>10</b>		<b>10</b>		<b>10</b>		<b>40</b>	

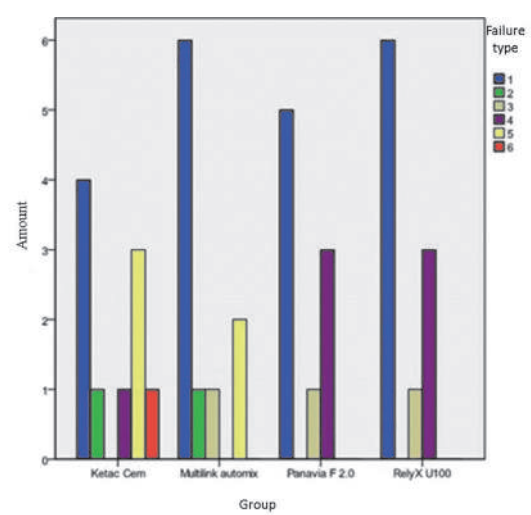
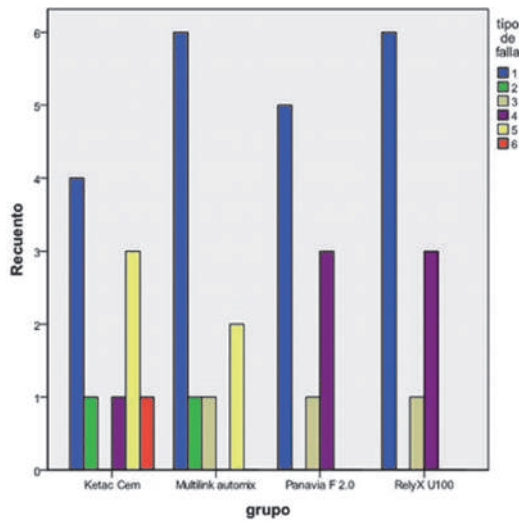


Figura 6. Porcentaje del tipo de falla por cada cemento, agrupado por tipo de falla

Figure 6. Percentage of failure type per cement, grouped by failure type

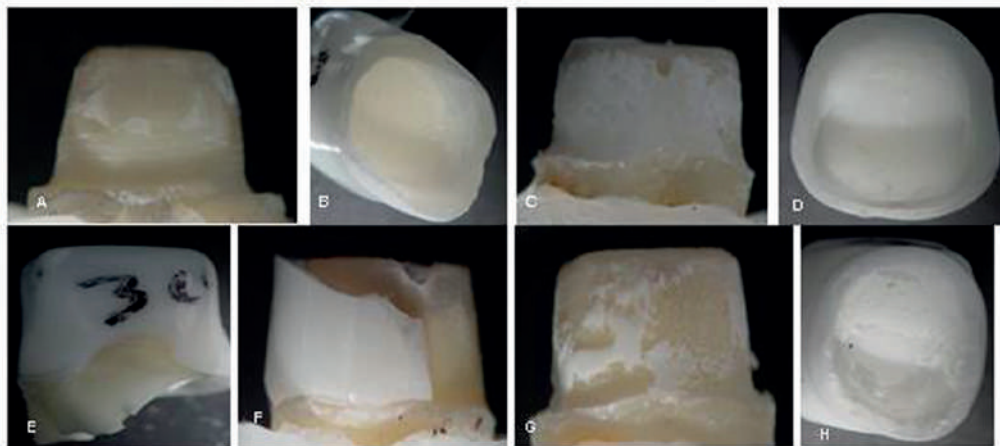


Figura 7. Fotografía en microscopio óptico de los diferentes tipos de fallas. a) y b) falla adhesiva a diente, c) y d) falla adhesiva a la estructura de zirconia-ytria, e) falla cohesiva en diente, f) falla cohesiva en la estructura de zirconia-ytria, g) y h) falla mixta

Figure 7. Optical microscope photograph of the different failure types. a) and b) failure of adhesion to tooth, c) and d) failure of adhesion to the zirconia-ytria structure, e) failure of cohesion to tooth, f) failure of cohesion to the zirconia-ytria structure, g) and h) mixed failure

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de esta investigación rechazan ambas hipótesis. La hipótesis alterna había planteado que las estructuras de zirconia-ytria, elaboradas con los sistemas CAD/CAM Procera® cementadas con cemento resinoso de curado dual autograbadador con MDP Panavia F 2.0 (Kuraray), obtuvieron mayores valores de retención que las coronas cementadas con cemento de ionómero de vidrio convencional Ketac cem (3M ESPE), con cemento resinoso de curado dual autograbadador, Multilink Automix (Ivoclar Vivadent) y cemento resinoso de curado dual autograbadador autoadhesivo RelyX U100 (3M ESPE). El Panavia F 2.0 no mostró los mayores valores de retención, con valor de media 686 N, comparado con el Multilink Automix, el cual reportó como valor de media 698 N.

La hipótesis nula había planteado que las estructuras de zirconia-ytria elaboradas con los sistemas CAD/CAM Procera® cementadas con cementos resinosos de curado dual autograbadador autoadhesivo RelyX U100 (3M ESPE), cemento resinoso de curado dual con MDP Panavia F 2.0 (Kuraray), cemento resinoso de curado dual autograbadador, Multilink Automix (Ivoclar Vivadent) y cemento de ionómero de vidrio convencional Ketac cem (3M ESPE), no presentaban diferencias significativas en su retención. Los resultados demuestran que sí existen diferencias significativas entre el Ketac Cem 3M ESPE y los cementos resinosos utilizados en el estudio, en especial con el Multilink Automix y el Panavia F 2.0, cuyo valor fue  $p = 0,013$ .

Los hallazgos de esta investigación coinciden, en algunos aspectos, con el estudio de Palacios,<sup>34</sup> en el que reportó valores mayores de retención para el RelyX Luting (3M ESPE) 8,5 MPa, comparado con Panavia F 2.0 (Kuraray) 6,9 MPa y RelyX Unicem (3M ESPE) 6,7 MPa, lo cual se correlaciona con los resultados obtenidos en esta investigación. En ambos estudios, el Panavia F 2.0 no reporta alta retención cuando se usa para la cementación de estructuras de zirconia-ytria CAD/CAM Procera® sobre dientes humanos, comparado con otros cementos.

## DISCUSSION

The results of this study reject both hypotheses. The alternate hypothesis had suggested that zirconia-ytria structures made with CAD/CAM Procera® systems and cemented with Panavia F 2.0 (Kuraray) self-etching dual-curing resinous cement with MDP produced higher retention values than conventional Ketac Cem (3M ESPE) glass ionomer cement, Multilink Automix (Ivoclar Vivadent) self-etching dual-curing resinous cement, and RelyX U100 (3M ESPE) self-adhesive self-etching dual-curing resinous cement. The Panavia F 2.0 cement did not produced the highest retention values, with an average value of 686 N, compared with Multilink Automix, which showed an average value of 698 N.

The null hypothesis had suggested that zirconia-ytria structures made with CAD/CAM Procera® systems and cemented with RelyX U100 (3 M ESPE) self-adhesive self-etching dual-cure resinous cement, Panavia F 2.0 (Kuraray) dual-cured resinous cement with MDP, Multilink Automix (Ivoclar Vivadent) self-etching dual-cure resinous cement, and Ketac Cem (3M ESPE) conventional glass ionomer cement did not show significant retention differences. These results prove that there are significant differences between the Ketac Cem (3M ESPE) and the resinous cements used in this study, especially with Multilink Automix and Panavia F 2.0, which presented a value of  $p = 0.013$ .

The findings of the present study agree in some aspects with the study by Palacios,<sup>34</sup> who reported higher retention values for RelyX Luting (3M ESPE), with 8,5 MPa, compared with Panavia F 2.0 (Kuraray) 6.9 Mpa, and RelyX Unicem (3M ESPE) 6.7 MPa, which coincides with the results obtained in this study. In both studies, Panavia F 2.0 does not show high retention values when used in cementing CAD/CAM Procera® zirconia-ytria structures on human teeth, compared with other cements.

Sin embargo, hay diferencias en la metodología entre esta investigación y la de Palacios. Esta última acondiciona las estructuras de zirconia con arenado de óxido de aluminio de 50  $\mu\text{m}$ , en cambio, en esta investigación no se hizo ningún tipo de tratamiento superficial al zirconio, la fuerza de retención se reportó en Newtons y, además, el método de estandarización del tamaño de la muestra consistió en la medición del espesor del tejido duro (esmalte dentina), en las superficies proximales y oclusales, a partir de radiografías, considerando el factor de distorsión o magnificación. Adicionalmente, se hicieron mediciones con un calibrador digital, antes y después de hacer las preparaciones. Palacios utiliza como método de estandarización de la muestra réplicas de las caras oclusales con acrílico de autopolimerización después de la preparación, las cuales se escanearon y compararon con las imágenes de 3 círculos de área y perímetro conocidos, para determinar el perímetro y el área oclusal en cada espécimen, usando un *software* especializado. La longitud axial se midió con un calibrador digital. Para obtener los valores del área axial de los especímenes se multiplicó el perímetro y la longitud axial de cada uno, y para establecer el área total, se sumaron las áreas oclusal y axiales en cada espécimen.<sup>34</sup>

Al revisar otros estudios con metodologías similares, como el de Ernst y colaboradores,<sup>35</sup> en los cuales se cementaron estructuras de zirconia (LAVA) sobre terceros molares, utilizando cementos como Ketac Cem, Panavia F y RelyX Unicem, se encuentra coincidencia con nuestro estudio respecto al comportamiento de los cementos resinosos y el ionómero convencional. Ernst reporta que el ionómero arroja uno de los valores más bajos de retención, 1,9 MPa, resultado que se correlaciona con el obtenido en el actual estudio. Al comparar los cementos resinosos como Panavia F, Relyx Unicem y los otros cementos resinosos utilizados en la misma investigación, se encuentra que también se pueden correlacionar sus resultados con los nuestros, ya que agentes de adhesión como SuperBond C&B sin tratamiento superficial a las estructuras de zirconia, obtienen valores de retención mayores que el Panavia F, 4,8 MPa y 4,0 MPa, respectivamente. Adicionalmente, el

However, there are methodological differences between this study and that of Palacios. The latter treats zirconia structures with sandblasting of 50  $\mu\text{m}$  aluminum oxide, but our study did not perform any kind of surface treatment to zirconium, the retention strength was reported in Newtons, and the method of sample size standardization consisted of measuring hard tissue thickness (enamel dentine) of proximal and occlusal surfaces using x-rays, considering the factor of distortion or magnification. In addition, measurements were made with a digital caliper before and after the preparations. As a method of sample standardization, Palacios used copies of the occlusal walls with self-curing acrylic after preparation, which were scanned and compared with the images of 3 circles of known area and perimeter to determine both perimeter and occlusal area in each specimen, using specialized software. Axial length was measured with a digital caliper. To obtain the specimens' axial area values, each sample's perimeter and axial length was multiplied, and to establish total area, the occlusal and axial areas in each specimen were totaled.<sup>34</sup>

When reviewing other studies that apply similar methodologies, like that of Ernst et al,<sup>35</sup> in which zirconia structures (LAVA) on third molars were cemented using luting agents such as Ketac Cem, Panavia F and RelyX Unicem, some coincidences with our study are found in terms of the behavior of resinous cements and conventional ionomer. Ernst reports that ionomer yields one of the lowest retention values, 1.9 MPa, a result that agrees with the one in the present study. By comparing resinous cements such as Panavia F, RelyX Unicem, and other resinous cements used in the same study, their results can also be correlated with ours, since adhesive agents such as C&B SuperBond without zirconia structures surface treatment showed retention values higher than those of Panavia F, with 4.8 Mpa and 4.0 Mpa respectively. Additionally, the

autor reporta valores mayores de retención para el RelyX Luting que para el Panavia F, valores que se asemejan en cuanto al comportamiento de estos agentes cementantes al estudio de Palacios.<sup>34</sup>

Los resultados obtenidos en el actual estudio también se correlacionan con el de Shahin y Kern,<sup>36</sup> en cuanto al comportamiento de cementos convencionales y cementos resinosos. Ellos utilizaron premolares a los cuales les hicieron preparación para coronas completas con ángulo de convergencia de 12° y altura de 3 mm Posteriormente, les adherían estructuras de zirconia (VITA In ceram YZ, maquinada con el sistema Cerec), utilizando agentes de adhesión, como el cemento de fosfato de zinc de rápido fraguado, ionómero de vidrio convencional Ketac Cem (3M ESPE) y cemento resinoso Panavia 21 (Kuraray). El estudio tenía como propósito evaluar la retención de coronas de zirconia con cementos convencionales y resinosos, además del efecto de los tratamientos de superficie y del envejecimiento en los valores de retención. Sus resultados demuestran que el Panavia 21 tiene mejor comportamiento como agente de adhesión en la retención de estructuras de zirconia sin tratamiento de superficie, reportando 5,8 MPa, comparado con el Ketac Cem, el cual reportó 2,8 Mpa aproximadamente.

Por otro lado, en relación con el Multilink Automix el cual, según los resultados obtenidos en nuestro estudio, tiene mejor retención que el Panavia F 2.0. La investigación hecha por Ernst,<sup>37</sup> quien evalúa los valores de retención de coronas de zirconia con cementos convencionales y resinosos, arroja resultados similares al nuestro. El autor utiliza dientes humanos que prepara para coronas completas con ángulo de convergencia de 10° y altura de 3 mm, cementa estructuras LAVA con ionómero resino modificado FujiCem, cementos adhesivos convencionales Variolink II/Syntac Clasicc, cementos resinosos autograbadores Panavia F 2.0/Multilink y cementos resinosos autoadhesivos RelyX Unicem/Maxcem. Trata la superficie con Rocatec®, solo a un grupo adicional usando RelyX Unicem Aplicap, y lleva a cabo el protocolo de cementación para cada cemento, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

author reports higher retention values for RelyX Luting than for Panavia F, with values similar to those of Palacios,<sup>34</sup> in terms of the behavior of these cementing agents.

The results of the present study also correlate with those of Shahin and Kern<sup>36</sup> concerning the behavior of conventional and resinous cements. These authors used premolars that were prepared for full crowns with an angle of convergence of 12° and 3 mm in height. They later adhered zirconia structures (VITA In ceram YZ, machined with the Cerec system) using adhesive agents such as prompt-natural zinc phosphate cement, Ketac Cem (3M ESPE) conventional glass ionomer, and Panavia 21 (Kuraray) resinous cement. The purpose of their study was to assess retention of zirconia crowns with resinous and conventional cements as well as the effect of surface treatments and aging on retention values. Their results show that Panavia 21 has better performance as a bonding agent in retaining zirconia structures without surface treatment, obtaining 5.8 MPa, compared with Ketac Cem, which reported approximately 2.8 Mpa.

Concerning Multilink Automix, which according to our study offers better retention than Panavia F 2.0, the study by Ernst,<sup>37</sup> who evaluates retention values of conventional and resinous cements on zirconia crowns, yields results similar to ours. The author uses human teeth prepared for full crowns with 10° convergence angle and 3 mm in height, and cements LAVA structures with modified FujiCem ionomer resin, Variolink II/Syntac Clasicc conventional adhesive cements, Panavia F 2.0/Multilink self-etching resinous cements, and RelyX Unicem/Maxcem self-adhesive resinous cements. He treats surfaces with Rocatec®, preparing only an additional group with RelyX Unicem Aplicap, and carries out the cementation protocol for each cement, according to the manufacturer's instructions.

Su estudio reporta valores de media superiores para el RelyX Unicem 7,5 MPa, para RelyX Unicem/Rocatec 7,2 MPa, para Multilink/Monobond S 5,4 MPa y Multilink/Metal Primer 5,3 MPa, en comparación con el valor del Panavia F 2.0 de 2,1 MPa. Estos resultados se correlacionan con los obtenidos por este estudio, en relación con el comportamiento del Multilink Automix. Sin embargo, para el nuestro, la diferencia estadística no es tan significativa en comparación con el de Ernst.<sup>37</sup>

Puede entonces establecerse una correlación positiva de los resultados obtenidos en esta investigación y lo reportado por la literatura, en cuanto a la cementación de estructuras de zirconia-ytria con cementos resinosos, el cual sugiere que los valores de adhesión de este tipo de cerámicas altamente cristalinas con cementos resinosos y, especialmente, aquellos que contienen monómeros de fosfatos ácidos, son superiores a los valores obtenidos con los cementos convencionales. Los datos más actuales reportan unión química del MDP a los óxidos de alúmina y zirconia,<sup>35</sup> y estabilidad química en presencia de agua. Por lo tanto, representa un nuevo tipo de cementos que fueron desarrollados con la finalidad de alcanzar una firme adhesión a la estructura cerámica.<sup>34, 38-40</sup>

Llama la atención el comportamiento superior del Multilink Automix, según los estudios de Ernst<sup>37</sup> y el presente, lo que se puede atribuir a la presencia de monómeros ácidos en este cemento. Los estudios de Mirmohammadia<sup>16</sup> y Thompson<sup>41</sup> mencionan la presencia de nuevos monómeros ácidos, producidos por los fabricantes, debido a que la patente de la molécula MDP es propiedad de la casa Kuraray. Estas nuevas moléculas se adicionan a la fórmula de cementos resinosos, que en el caso del Multilink Automix, es un monómero de fosfato auto grabador, caracterizado por su estabilidad hidrolítica, el cual tiene un fosfato terminal y por lo menos dos sitios de unión a la matriz de resina por medio de puentes de oxígeno. En el caso del RelyX U100, es un metacrilato fosforilado auto grabador, que está diseñado para la unión directa al esmalte y a la dentina, con dos grupos fosfatos y por lo menos dos enlaces dobles de carbono, con los cuales se demuestran altos valores de adhesión a la zirconia y entrecruzamiento a la matriz de resina.

His study reports higher average values for RelyX Unicem (7.5 Mpa), RelyX Unicem/Rocatec (7.2 MPa), Multilink/Monobond S (5.4 Mpa), and Multilink/Metal prime (5.3 MPa), compared with the 2.1 MPa value of Panavia F 2.0. These results agree with those obtained in the present study in terms of the behavior of Multilink Automix. However, in our study the statistical difference is not as significant as that of Ernst.<sup>37</sup>

A positive correlation can therefore be established between the results of this study and what has been reported by the literature in terms of cementing zirconia-ytria structures with resinous cements, which suggests that adhesion values of this type of highly crystalline ceramics with resin cements—especially those that contain monomers of acid phosphates—are higher than the values obtained with conventional cements. The most current data report chemical bonding of MDP to alumina and zirconia oxides,<sup>35</sup> and chemical stability in the presence of water. Therefore, this represents a new type of cement which were developed with the intention of achieving strong adherence to the ceramic structure.<sup>34, 38-40</sup>

It is interesting to note the superior behavior of Multilink Automix according to the studies by Ernst<sup>37</sup> and our own study, which can be attributed to the presence of acid monomers in this cement. Studies by Mirmohammadia<sup>16</sup> and Thompson<sup>41</sup> mention the presence of new acid monomers produced by manufacturers, since the MDP molecule patent is owned by Kuraray. These new molecules are added to resinous cements formulas, which in the case of Multilink Automix is a self-etching phosphate monomer characterized by hydrolytic stability, a terminal phosphate and at least two bonding sports to the resin matrix by oxygen bridges. Concerning RelyX U100, it is a self-etching phosphorylated methacrylate designed for direct bonding to enamel and dentin, with two phosphate groups and at least two double carbon bonds, which demonstrate high adherence values to zirconia and interspersions to the resin matrix.

Adicionalmente al mecanismo de unión química, la casa fabricante del Multilink Automix indica el uso del Primer como acondicionador para estructuras de zirconia, previa a la aplicación del cemento resinoso, que viene en presentación de jeringa de automezcla para aplicación directa a la restauración. En el caso del Panavia F 2.0 y el RelyX U100, se dispensan y se mezclan las pastas A y B de manera manual sobre el papel de mezcla, esto podría alterar la proporción de las pastas base y catalizadora durante el espatulado. Estudios como el de Behr y colaboradores,<sup>7</sup> en el cual se evaluaron los cambios de las propiedades físicas de algunos cementos, entre ellos el Panavia F 2.0, demostraron que este es sensible a la proporción inadecuada de la mezcla, en especial cuando su polimerización es por medio químico, las mezclas de pasta A en menor proporción que la pasta B ocasionan disminución significativa de los valores de resistencia flexural, comparados con la proporción definida por el fabricante de 1:1. Otro aspecto es que la mezcla manual puede incorporar oxígeno, lo que origina inhibición de la polimerización en aproximadamente 100  $\mu$ m del material expuesto al oxígeno, aún después de la cementación a través de los bordes de la restauración, por lo tanto se recomienda el uso de barreras, como la glicerina, en los casos del Multilink Automix y del Panavia F 2.0.

Respecto del tipo de falla, el estudio de Palacios<sup>34</sup> tiene similitud con este, en el que el tipo de falla adhesiva a la estructura dentaria fue la predominante, debido a que la mayor cantidad del cemento se presentó en las estructuras de zirconia. Sin embargo, se presenta como segundo tipo de falla la adhesiva a la zirconia, seguida de la cohesiva a esta misma, y los tres tipos de fallas se presentaron en mayor porcentaje con el Panavia. En este estudio, el segundo tipo de falla fue la cohesiva a la estructura de zirconia, especialmente en Panavia 21 y RelyX U100, seguida por la falla mixta, la cual se presenta en mayor porcentaje con el Ketac Cem.

Adicionalmente, en cuanto al tipo de falla, los resultados de este estudio y los reportados por Shahin y Kern,<sup>36</sup> se asemejan, pues para el Ketac Cem, se presenta falla adhesiva al diente y a la estructura de zirconia en porcentaje del 50% en cada tipo de falla, mientras que para

In addition to the chemical bonding mechanism, the Multilink Automix manufacturer specifies the use of primer as a zirconia structure conditioner prior to the application of resinous cement, which comes in the form of an automix syringe for direct application on restorations. Concerning Panavia F 2.0 and RelyX U100, plasters A and B are manually dispersed and mixed on the mixing pad, and this could alter the base/catalyst plaster proportion while applying. Studies like the one by Behr et al,<sup>7</sup> which assessed changes in the physical properties of some cements, including Panavia F 2.0, showed that it is sensitive to inappropriate mixing ratio, especially when chemically polymerized, and mixtures of plaster A to a lesser proportion than plaster B cause significant decrease in flexural resistance values, compared with the 1:1 ratio defined by the manufacturer. Another aspect to consider is that manual mixing can add oxygen, resulting in polymerization inhibition of approximately 100  $\mu$ m of the material exposed to oxygen, even after cementing along the restoration edges, so it is recommended to use barriers such as glycerin in agents such as Multilink Automix and Panavia F 2.0.

With respect to failure type, Palacios' study<sup>34</sup> is similar to the present study in terms of adhesive failure to tooth structure being the predominant one, since the most quantity of cement was found on the zirconia structures. However, the second type of failure turns out to be adhesion to zirconia, followed by cohesion to it, and the three types of failures occurred on Panavia in a higher percentage. In the present study, the second type of failure was cohesion to zirconia structure, especially on Panavia 21 and RelyX U100, followed by mixed failure, which occurs on Ketac Cem in a higher percentage.

Additionally, the results of this study and those reported by Shahin and Kern<sup>36</sup> are similar in terms of failure type, since Ketac Cem shows adhesive failure to tooth and to zirconia structure in a proportion of 50% per failure type, while in the case

el Panavia 21 el principal tipo de falla es la adhesiva al diente, obteniendo mayor porcentaje de cemento resinoso adherido a la estructura de zirconia, sobrepasando el 75%, considerado por los autores como falla adhesiva del cemento a la dentina.

Estos resultados llevan a plantear que la adhesión a las estructuras de zirconia con tratamiento de superficie o sin él, ya no es un problema por resolver, los estudios demuestran que los cementos resinosos se unen a la cerámica de óxido de zirconio estabilizado con ytria, reportando altos valores adhesivos sin tratamiento de superficie y que estos valores se incrementan considerablemente con los diferentes sistemas de acondicionamiento de superficies, desde el arenado con partículas de óxido de aluminio en diferentes tamaños, hasta los métodos más recientemente desarrollados por los fabricantes, como la infiltración selectiva y el grabado ácido a altas temperaturas.<sup>36, 41-45</sup>

## CONCLUSIONES

1. Los cementos resinosos que en su composición presentan monómeros de fosfato ácidos, reportan valores superiores en la retención de estructuras de zirconia-ytria a la superficie dental, como se encontró en este estudio, 698 N para el Multilink Automix, cuando se comparan con cementos convencionales tipo ácido-base.
2. El tipo de falla predominante en el estudio es adhesiva a la dentina para cada uno de los cementos utilizados, en comparación con los otros tipos de falla. Esto señala que la dentina como sustrato de adhesión sigue siendo difícil de manejar, aun con los esfuerzos de las casas comerciales en la optimización de sus productos.

## AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Procesamiento de Polímeros, Grupo de materiales poliméricos, UdeA, Ingeniero Coordinador: Diego H. Giraldo V. Ensayos realizados por las Ingenieras de Materiales: Nadia Henao y Rubiela Montoya.

of Panavia 21 the main failure type is adhesion to tooth, with a higher percentage of resinous cement adhered to the zirconia structure, exceeding 75%, which is considered by the authors as adhesive failure of cement to dentin.

These results suggest that adhesion to zirconia structures with or without surface treatment is no longer a problem to solve. The studies show that resinous cements are bonded to the ceramics of zirconium oxide stabilized with yttria, reporting high adhesive values without surface treatment, and that these values considerably increase with the different surface treatment systems, from sandblasting with aluminum oxide particles in different sizes to the methods most recently developed by manufacturers, such as selective infiltration and acid etching at high temperatures.<sup>36, 41-45</sup>

## CONCLUSIONS

1. Resinous cements containing acid phosphate monomers show higher retention values to tooth surface in zirconia-ytria structures, as proven in this study (with 698 N for Multilink Automix) when compared with conventional acid-base cements.
2. In this study, the predominant failure type is adhesion to dentine in each of the cements used, in comparison with other types of failure. This suggests that dentin as an adhesion substrate remains difficult to handle, even with the manufacturers efforts to optimize their products.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To the Polymer processing Laboratory, Polymer Material Group. Universidad de Antioquia. Coordinating Engineer: Diego H. Giraldo V. Tests performed by material engineers: Nadia Henao and Rubiela Montoya.



**CONFLICTO DE INTERES**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

**CORRESPONDENCIA**

Richard Mejía Bravo  
 Universidad de Antioquia  
 Facultad de Odontología  
 Medellín, Colombia  
 Correo electrónico: rbravo74@hotmail.com

**CONFLICTS OF INTEREST**

The authors declare having no conflicts

**CORRESPONDING AUTHOR**

Richard Mejía Bravo  
 Universidad de Antioquia  
 Facultad de Odontología  
 Medellín, Colombia  
 Email address: rbravo74@hotmail.com

**REFERENCIAS / REFERENCES**

- Anusavice KJ. Dental Ceramics. En: Phillips. The science of dental material. 11.ª ed. España: Elsevier; 2004. p. 660-662.
- Raigrodski AJ, Chiche GJ, Potiket N, Hochstedler JL, Mohamed SE, Billiot S. The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide based ceramic fixed partial dental prostheses: A prospective clinical pilot study. *J Prosthet Dent* 2006; 96(4): 237-244.
- May KB, Russell MM, Razzoog ME, Lang BR. Precision of fit: the procera all ceram crowns. *J Prosthet Dent* 1998; 80(4): 394-404.
- Snyder MD, Hogg KD. Load-to-fracture value of different All-ceramic crown systems. *J Prosthet Dent* 2005; 15; 6(4): 54-63.
- Odman P, Andersson B. Procera All Ceram crowns followed for 5 to 10.5 years: a prospective clinical study. *Int J Prosthodont* 2001; 14(6): 504-509.
- Fradeani M, D'Amelio M, Redemagni M, Corrado M. Five years follow-up with Procera all Ceramic crowns. *Quintessence Int* 2005; 36(2): 105-113.
- Behr M, Rosentritt M, Loher H, Kolbeck C, Trempler C, Stemplinger B et al. Changes of cement properties caused by mixing errors: the therapeutic range of different cement types. *Dent Mater* 2008; 24(9): 1187-1193.
- Attar N, Tam LE, McComb D. Mechanical and physical properties of contemporary dental luting agents. *J Prosthet Dent* 2003; 89(2): 127-134.
- Hill EE. Dental cements for definitive luting: a review and practical clinical considerations. *Dent Clin North Am* 2007; 51(3): 643-658.
- Mount GJ. Glass ionomers: a review of their current status. *Oper Dent* 1999; 24(2): 115-124.
- Macchi RL. Ionómeros vítreos. En: *Materiales dentales*. 4.ª ed. Argentina: Panamericana; 2007. p. 149-155.
- Fruits TJ, Coury TL, Miranda FJ, Duncanson MG Jr. Uses and properties of current glass ionomers cements: a review. *Gen Dent* 1996; 44(5): 410-418.
- Heintze SD. Crown pull-off test (crown retention test) to evaluate the bonding effectiveness of luting agents. *Dent Mater* 2010; 26(3): 193-206.
- Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematic review of current clinical trials. *Dent Mater* 2005; 21(9): 864-881.
- Irie M, Maruo Y, Nishigawa G, Suzuki K, Watts DC. Physical properties of dual-cured luting agents correlated to early no interfacial-gap incidence with composite inlay restorations. *Dent Mater* 2010; 26(6): 608-615.
- Mirmohammadia H, Aboushelib MN, Salameh Z, Feilzer AJ, Kleverlaan CJ. Innovations in bonding to zirconia based ceramics: Part III. Phosphate monomer resin cements. *Dent Mater* 2010; 26(8): 786-792.
- Ivoclar Vivadent. [Internet]. [Consultado 2008 Ago 19] Disponible en: [http://www.ivoclarvivadent.es/content/products/detail.aspx?id=prd\\_t1\\_100955863&product=Multilink](http://www.ivoclarvivadent.es/content/products/detail.aspx?id=prd_t1_100955863&product=Multilink)
- Holderegger C, Sailer I, Schuhmacher C, Schläpfer R, Hämmerle C, Fischer J. Shear bond strength of resin cements to human dentin. *Dent Mater* 2008; 24(7): 944-950.
- Wolfart M, Lehmann F, Wolfart S, Kern M. Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods. *Dent Mater* 2007; 23(1): 45-50.

20. Kuraray. [sitio en internet]. [Fecha de acceso 19 de agosto de 2008] URL disponible en: <http://www.kuraraydental.com/viewproduct.php?pid=13>
21. Quaes AC, Yang B, Kern M. Panavia F 2.0 bonding to contaminated zirconia ceramic after different cleaning procedures. *Dent Mater* 2007; 23(4): 506-512.
22. Moszner N, Sals U, Zimmermann J. Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review. *Dent Mater* 2005; 21(10): 895-910.
23. 3M [Internet]. [Consultado 2008 Ago 19] Disponible en: [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/3M-ESPE/dental-professionals/products/category/cement/relyx-unicem/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/3M-ESPE/dental-professionals/products/category/cement/relyx-unicem/)
24. Gerth HU, Dammaschke T, Züchner H, Schäfer E. Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites —a comparative study. *Dent Mater* 2006; 22(10): 934-941.
25. Frankenberger R, Lohbauer U, Schaible RB, Nikolaenko SA, Naumann M. Luting of ceramic inlays in vitro: marginal quality of self-etch and etch-and-rinse adhesive versus self-etch cements. *Dent Mater* 2008; 24(2): 185-191.
26. Vrochari AD, Eliades G, Hellwig E, Wrbas KT. Curing efficiency of four self-etching, self-adhesive resin cements. *Dent Mater* 2009; 25(9): 1104-1108.
27. Aboushelib MN, Mirmohamadi H, Matinlinna JP, Kukkk E, Ounsi HF, Salameh Z. Innovations in bonding to zirconia-based materials. Part II: Focusing on chemical interactions. *Dent Mater* 2009; 25(8): 989-993.
28. Rosentritt M, Behr M, Thaller C, Rudolph H, Feilzer A. Fracture performance of computer-aided manufactured zirconia and alloys crowns. *Quintessence Int* 2009; 40(8): 655-662.
29. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003; 89(3): 268-274.
30. Huheey JE, Keiter EA. Inorganic chemistry-principles of structure and reactivity. New York: Harper & Row. Harper Collins; 1993.
31. Matinlinna JP, Heikkinen T, Ozcan M, Lassila LV, Vallittu PK. Evaluation of resin adhesion to zirconia ceramic using some organosilanes. *Dent Mater* 2006; 22(9): 824-831.
32. Wegner SM, Kern M. Long-term resin bond strength to the zirconia ceramic. *J Adhes Dent* 2000; 2(2): 139-147.
33. Atsu SS, Kilicarslan MA, Kucukesmen HC, Aka PS. Effect of zirconium-oxide ceramic surface treatments on the bond strength to adhesive resin. *J Prosthet Dent* 2006; 95(6): 430-436.
34. Palacios RP, Johnson GH, Phillips KM, Raigrodski AJ. Retention of zirconium oxide ceramic crowns with three types of cement. *J Prosthetic Dent* 2006; 96(2): 104-114.
35. Ernst CP, Cohnen U, Stender E, Willershausen B. In vitro retentive strength of zirconium oxide ceramic crowns using different luting agents. *J Prosthet Dent* 2005; 93(6): 551-558.
36. Shahin R, Kern M. Effect of air-abrasion on the retention of zirconia ceramic crowns luted with different cements before and after artificial aging. *Dent Mater* 2010; 26(9): 922-928.
37. Ernst CP. Influence of different luting concepts on long term retentive strength of zirconia crowns. *Am J Dent* 2009; 22(2): 122-128.
38. Piwowarczyk A, Lauer HC. Mechanical properties of luting cements after water storage. *Oper Dent* 2003; 28(5): 535-542.
39. Oyagüe RC, Monticelli F, Toledano M, Osorio E, Ferrari M, Osorio R. Effect of water aging on microtensile bond strength of dual-cured resin cements to pre-treated sintered zirconium-oxide ceramics. *Dent Mater* 2009; 25(3): 392-399.
40. Yang B, Barloi A, Kern M. Influence of air-abrasion on zirconia ceramic bonding using an adhesive composite resin. *Dent Mater* 2010; 26(1): 40-50.
41. Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R. Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: where are we now? *Dent Mater* 2011; 27(1): 71-82.
42. Viotti R, Kasaz A, Pena CE, Alexandre RS, Arrais CA, Reis AF. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. *J Prosthet Dent* 2009; 102(5): 306-312.
43. Attia A, Lehmann F, Kern M. Influence of surface conditioning and cleaning methods on resin bonding to zirconia ceramic. *Dent Mater* 2011; 27(3): 207-213.
44. Moustafa N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. *J Prosthet Dent* 2007; 98(5): 379-388.
45. Phark H, Duarte S Jr, Blatz M, Sadan A. An in vitro evaluation of the long-term resin bond to a new densely sintered high-purity zirconium-oxide ceramic surface *J Prosthet Dent* 2009; 101(1): 29-38.