

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGÍA RESTAURADORA
AREA DE BIOMATERIALES DENTALES**

Estudio comparativo *in vitro* de la tracción diametral y dureza superficial, entre una resina compuesta fluida y dos cementos de resina de curado dual

Ivor Alexei Beros Collío

**TRABAJO DE INVESTIGACION
REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE
CIRUJANO-DENTISTA**

TUTOR PRINCIPAL

Dr. Manuel Ehrmantraut N.

TUTOR ASOCIADO

Dr. Cristian Astorga M.

**Santiago - Chile
2006**

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO	4
OBJETIVOS	23
MATERIAL Y MÉTODO	24
RESULTADOS	28
DISCUSIÓN	33
CONCLUSIONES	41
RESUMEN	42
BIBLIOGRAFÍA	43

INTRODUCCIÓN

En la pérdida de tejido dentario, ya sea por caries, traumatismos u otro tipo de lesiones, la odontología ha utilizado diversos materiales, que no solo devuelven la función mecánica, sino que además el aspecto óptico natural de las piezas dentarias afectadas. (1)

Antiguamente, cuando se había perdido tejido dentario o como solución a alteraciones estéticas dentarias, se disponía solamente de materiales restauradores estéticos como los silicatos y las resinas acrílicas, que poseen propiedades mecánicas limitadas, lo cual llevó al desarrollo de las resinas compuestas.(2)

Las resinas compuestas, en un principio se utilizaron sólo como material de obturación directa, pero su acelerado desarrollo ha permitido expandir su abanico de indicaciones aprovechando sus características, llegando a utilizarse en restauraciones indirectas y como material para la fijación de estructuras indirectas (cementos de resina). También se amplió su campo por las distintas consistencias que hoy en día presentan estos materiales, otorgándoles así una mayor cantidad de indicaciones clínicas.

Como anteriormente se mencionó, existe un tipo de resinas compuestas que se puede utilizar como mecanismo de fijación de estructuras estéticas indirectas. Estos materiales son los llamados cementos de resina compuesta, los que poseen propiedades físicas y mecánicas comunes con el resto de la familia de las resinas compuestas, pero presentan algunas diferencias como por ejemplo, menor viscosidad que las resinas compuestas convencionales. Además, los cementos de resina pueden ser polimerizados químicamente y / o físicamente, pero existen los llamados cementos de resina de curado dual, que polimerizan mediante un proceso de auto curado y foto curado, simultáneamente, (2) lo que permite su aplicación en la fijación de estructuras tanto metálicas como cerámicas.

Aunque los cementos de resina de polimerización dual han mostrado buenas características mecánicas, poseen inestabilidad de color ya que el activador químico de su polimerización autógena, se oxida en el tiempo, generando cambios de coloración.

Como alternativa a los cementos de curado dual, se puede utilizar un tipo de resina compuesta fluida (resina flow), que poseen, como su nombre lo dice, una mayor fluidez.

Sobre la base de lo anteriormente expuesto, nacen las siguientes preguntas:
¿Existen diferencias en el comportamiento mecánico entre los cementos de resina de polimerización dual, con respecto a una resina fluida (flow)? ¿Existen diferencias en estas propiedades, entre distintas marcas de cementos de resina de polimerización dual?

El motivo de este trabajo será estudiar algunas propiedades mecánicas de dos marcas comerciales de cementos de resina de curado dual, y una marca comercial de resina flow. Las propiedades a estudiar son la dureza superficial y la resistencia a la tracción diametral.

MARCO TEÓRICO

La práctica odontológica, en su afán de contar con un material que pueda reponer el tejido dentario perdido, cuenta con una gran variedad de ellos, los que poseen diferentes características.

Cuando existe pérdida de tejido dentario de pequeña o mediana magnitud, la odontología dispone de una gran variedad de materiales de restauración directa, como las amalgamas, los ionómeros vítreos y los composites. En general, estos materiales poseen características que restringe su uso en sectores específicos de la arcada dentaria. Sin embargo, las propiedades que poseen los composites lo hacen el material de elección cuando se desea restaurar y simular de mejor manera las características mecánicas y estéticas del tejido dentario perdido, sin tener que sacrificar una gran cantidad de tejido dentario sano. (1)

Pero cuando la pérdida de tejido es de gran envergadura se indican materiales restauradores indirectos tales como los metales, las cerámicas y las resinas compuestas. Estos materiales cumplen con los requisitos mecánicos, biológicos y estéticos (salvo los metales) adecuados para su utilización como soluciones restauradoras de piezas dentarias con gran pérdida de tejido.

En tiempos pasados, sólo se disponía de materiales tales como las cerámicas y los metales, pero en 1962, después de múltiples experimentaciones, R. L. Bowen dio a conocer un nuevo material, el cual denominó Resina Compuesta o Reforzada (Composite), el cual se basaba en un monómero de mayor peso molecular que el metacrilato de metilo utilizado en las resinas acrílicas, lo que le otorgaba propiedades mecánicas y estéticas superiores a los acrílicos; además se les adicionó un refuerzo en base a cuarzo, el cual hacía disminuir la cantidad de monómero por unidad de volumen.(1,2)

Bowen denominó a la nueva molécula monomérica, *bisfenol A-glicidil metacrilato* (*bis – GMA*), la cual compone la *fase orgánica* del composite. A las partículas de relleno (*fase inorgánica*), las trató con un compuesto orgánico de silicio: el *vinil silano*, que forma la llamada *fase de acoplamiento*, y que permitió que la fase orgánica e inorgánica, se uniesen. Estas tres fases constituyen la base de la cual parte el acelerado desarrollo de los composites. (1)

El *bis – GMA* puede ser reemplazado por otro monómero, el *dimetacrilato de uretano* (UDMA), o por un mezcla de ambos. El inconveniente de estos monómeros es su viscosidad, la que produce una manipulación difícil, por lo que se han agregado otros componentes, como el *trietilenglicol – dimetacrilato* (TEGDMA), que reduce la viscosidad del material, resultando en una mejor manipulación clínica (3).

Las resinas compuestas para poder ser utilizadas como material de restauración, deben ser endurecidas por algún mecanismo. Éste corresponde a una polimerización por adición de tipo radicalica. Y para lograr esta polimerización, es necesario un agente iniciador químico, el cual puede ser un peróxido orgánico, generalmente peróxido de benzoilo, que otorga la energía para iniciar la reacción en cadena que transformará el monómero a polímero. (4) No obstante, esta polimerización ha evolucionado en el tiempo.

En un principio se disponía sólo de resinas compuestas auto polimerizables, que poseen desventajas tales como la obtención de un polímero de mala calidad producto de una notoria cantidad de monómero residual, y la inestabilidad del color producto de la reacción de óxido reducción que ocurre entre una amina aromática y el peróxido orgánico, lo que terminaba con la descomposición de la amina. (5) Posteriormente, se crearon las resinas compuestas foto activadas, que poseen una mejor conversión de monómero a polímero, y mejoran estabilidad del color respecto a las resinas auto curables.

A modo de conocer en mayor profundidad estos materiales y poder entender su comportamiento e indicaciones, las resinas compuestas se pueden clasificar de acuerdo a distintos parámetros, como son:

1. Según relleno
2. Según tipo de monómero que compone la matriz
3. Según activación
4. Según consistencia

1. Según relleno

- De Macro relleno o convencionales:

El relleno más común es el cuarzo, con un tamaño de partícula entre 8 y 80 μm , rodeadas de una apreciable cantidad de matriz de resina (1,3). Actualmente se encuentran en desuso.

- De Micro relleno:

Posee sílice coloidal como relleno inorgánico. El tamaño de partícula es de 0.04 μm aproximadamente. De este modo se mejora la calidad del pulido y la resistencia a la abrasión. Su desventaja es la disminución de la resistencia compresiva en comparación a otras resinas compuestas (1)

- Híbridas:

Las partículas de las resinas compuestas de tipo híbrida, corresponden a sílice coloidal (micro relleno) y partículas con un tamaño promedio entre 1.5 y 2 μm , lo que otorga una superficie con mayor pulido y adecuada resistencia mecánica. Este grupo de resinas compuestas combina las propiedades de las anteriores (1)

- Micro híbridas:

Mezclan partículas de micro relleno con partículas más grandes, de un tamaño entre 0.4 y 0.7 μm . Poseen excelentes propiedades físicas, con una resistencia mecánica compresiva mayor que las anteriores y una resistencia al desgaste compatible a su función. Además poseen buena terminación y pulido.

Al tener esta combinación de partículas, es posible incorporar un alto porcentaje de relleno, aproximadamente un 67% en volumen. (1) Todas estas características permiten que este tipo de resinas compuestas sean las de mayor uso en la actualidad, con utilidad para piezas dentarias del sector anterior como en el posterior de la boca. (1)

- De Nanopartículas:

Corresponden a lo composites que poseen partículas de relleno de tamaño promedio 25 nm. Este tamaño de partícula está por debajo del rango de longitud de onda de la luz visible, por lo que no dispersan ni absorben luz visible. Este tipo de relleno permite la incorporación de radiopacificadores que no interfieren con las propiedades estéticas y, sobre todo, incrementan el nivel de relleno a niveles de 90% - 95% en peso, controlando de mejor manera la contracción por polimerización y mejorando significativamente sus propiedades físicas.

Estos composites son de última generación y para su formulación se ha utilizado nanotecnología. La nanotecnología corresponde a la aplicación de componentes o elementos de escala nanométrica en algún proceso tecnológico. Muchas ciencias o procesos tecnológicos o industriales aplican hoy en día componentes o elementos de ese rango; la odontología no es una excepción y tampoco la composición de los composites. (6)

Como ya se ha mencionado, las ventajas que otorgan la incorporación de nanopartículas mejora algunas propiedades mecánicas y estéticas tales como una mayor resistencia a la abrasión y un mejor pulido superficial que los anteriores tipos de resina compuesta (6)

2. Según tipo de monómero que compone la matriz

- bis – GMA:

Bisfenol –glicidil metacrilato. Posee un grupo activo a cada extremo de la cadena. Como características se cuentan su viscosidad. (7)

- DMU o UDMA:

Dimetacrilato de uretano. Es una cadena más larga que la anterior, más fluido y pegajoso, y con mejores propiedades ópticas. (7)

- Mixtas:

Corresponden a aquellos composites que en su composición combinan distintos tipos de monómeros, con el objetivo de mejorar algunas propiedades del material. Los monómeros que las componen pueden ser bis – GMA, UDMA y / o TEGDMA, en distintas proporciones.

Al combinar estos monómeros, se puede obtener una consistencia que otorga mejor manipulación y mejores propiedades ópticas. (7)

3. Según activación:

- *Resinas compuestas de Activación química:*

En el proceso de activación química, una amina terciaria aromática es quien activa la reacción de polimerización, que al actuar sobre el peróxido de benzoilo, permite la producción de radicales libres que reaccionarán sobre el monómero en el inicio del proceso, a temperatura ambiente. (1)

- *Resinas compuestas de Activación física:*

- Termo polimerización:

Corresponde a la activación por calor o por un alza en la temperatura del material previamente moldeado y por esta razón son utilizadas principalmente como material para la confección de estructuras indirectas (4).

- Foto polimerización:

Corresponde a los sistemas activados por luz visible

En estos sistemas una luz halógena, de longitud entre los 410 y 500 nm., activa a una α - dicetona, la canforoquinona, que en presencia de una amina alifática, inicia la reacción de polimerización. En otras palabras, los fotones actúan sobre la canforoquinona, que reacciona liberando radicales libres, los que a su vez inician el proceso de polimerización del monómero presente (4).

Las resinas compuestas foto activadas poseen numerosas ventajas en comparación a las resinas compuestas de auto polimerización, entre las cuales se puede mencionar la menor cantidad de monómero residual que se encuentra posterior al proceso de polimerización, un proceso de polimerización más rápido, la capacidad que posee la luz de atravesar las estructuras dentarias, y proporcionar una mayor estabilidad de color. (6)

- *Resinas compuestas de Activación mixta:*

Corresponden a la combinación de distintos sistemas de polimerización, tales como calor – presión, luz – presión, calor – luz, o foto – auto polimerización, siendo esta última combinación la más utilizada hoy en día en las resinas compuestas destinadas a la fijación de estructuras indirectas en boca (7).

4. *Según su consistencia*

- *Resinas compuestas convencionales*

Corresponden a un grupo de resinas compuestas que poseen una viscosidad intermedia. Esta característica está dada por la cantidad de relleno presente en su estructura, la que corresponde a un 72% - 82% en peso, y a un 60% - 68% en volumen (8). Tienen un bajo índice de desgaste, alta elasticidad y resistencia a la fatiga.

- *Resinas compuestas condensables*

Corresponden a aquellos composites con una estructura similar a la de cualquier resina, donde la porción inorgánica o de relleno constituye el 77% a 83% en peso y 65% a 71% en volumen. Poseen una malla polimérica rígida (fibras cerámicas porosas silanizadas conectadas entre sí que permiten el infiltrado de la matriz orgánica entre ellas), lo que brinda una viscosidad similar a la de la amalgama. Debido a su alto contenido de relleno, se hace necesario condensar el material para lograr su adaptación a la cavidad a restaurar. (8) Son altamente resistentes al desgaste y a la fatiga, con un alto módulo de elasticidad que las hace comportarse como resinas rígidas. (8)

- *Resinas compuestas fluidas*

Son resinas compuestas de baja viscosidad, es decir, más fluidas que la resina compuesta convencional. Para poder alcanzar esta característica, se les disminuyó el porcentaje de relleno inorgánico y se eliminó de su composición algunas sustancias o modificadores reológicos, con lo cual mejora su manipulación. La cantidad de relleno que poseen es de 51% a 65% en peso y de 36% a 50% en volumen. Esto les confiere un bajo módulo de elasticidad y una gran flexibilidad. Son de fácil pulido y poseen una baja resistencia al desgaste. (9)

Además producen alta humectabilidad de la superficie dental, asegurando la penetración en todas las irregularidades del sustrato dentario, formando espesores de capa mínimos que eliminan el atrapamiento o inclusión de aire en su interior. (9)

Como se puede apreciar, actualmente se dispone de una gran gama de resinas compuestas, material que ha diversificado sus indicaciones clínicas, ya que presenta propiedades biológicas aceptables, como la ausencia de volatilidad y la baja reacción exotérmica resultante del proceso de polimerización. Además de estas aceptables propiedades biológicas, las resinas compuestas presentan propiedades mecánicas superiores a otros materiales restauradores, como los metales y los compuestos de amalgama (9).

El término propiedades mecánicas se define como las respuestas medibles tanto elásticas (reversibles al eliminar la fuerza) como plásticas (irreversibles), bajo la influencia de fuerzas externas, denominadas cargas (11). Se denomina fuerza a cualquier acción o influencia capaz de modificar el estado de movimiento de un cuerpo, es decir, de imprimirle una aceleración.

Las fuerzas pueden actuar de distinta forma en un cuerpo, produciendo efectos diversos, por lo que se pueden describir diferentes tipos de fuerzas, según el efecto que generan sobre un cuerpo.

Para facilitar su comprensión, las fuerzas pueden clasificarse en:

- *fuerzas traccionales*: aquellas que actúan en la misma dirección, pero en distinto sentido lo que produce que el material se alargue, al vencer las fuerzas de atracción de las moléculas constituyentes de un material;

- *fuerzas compresivas*: son las que actúan en la misma dirección y en sentido contrario pero esta vez comprimiendo el material, lo que vence las fuerzas de repulsión entre las moléculas que constituyen un material. Esto genera que el material se aplaste o se acorte;

- *fuerzas de torsión*: aquellas fuerzas que generan un espiral

- *fuerzas de flexión*: las que ocurren cuando sobre el centro de un material actúan 1 o 2 fuerzas. (11)

- *fuerzas de cizallamiento*: son aquellas que actúan en distinto sentido y dirección, generando un corte en el material que son aplicadas.

Cuando una fuerza externa o carga actúa sobre un cuerpo sólido, este responde con una fuerza que es de igual magnitud, pero de dirección opuesta a la fuerza aplicada. Esto en otras palabras, es el principio de acción y reacción de Newton.

Es decir, dependiendo del tipo de fuerza al que sea sometido un material, se obtendrá una modificación en éste. Basados en este principio, las fuerzas o cargas pueden generar *tracción por compresión*, o *tracción diametral*. Esto es, si se aplica una fuerza de compresión vertical o fuerza compresiva sobre los cantos de una probeta (muestra de material) cilíndrica, se produce una tensión perpendicular al plano vertical que pasa por el centro de ella, generando una fractura a lo largo de este plano vertical. En esta situación, la tensión es directamente proporcional a la carga de compresión aplicada. (11) Esto, llevado a expresiones matemáticas es:

$$X = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times t}$$

Donde: X: Tensión de tracción (kg/cm²)

P: Carga máxima de compresión, determinada experimentalmente (Kg.)

D: Diámetro de la probeta cilíndrica (cm)

T: espesor de la probeta (cm)

El principio de acción y reacción de Newton también es válido para otras propiedades mecánicas, como es el caso de la *dureza superficial*. Al aplicar una carga sobre la superficie de un material, se produce una deformación de superficie llamada indentación. La *dureza superficial* corresponde a la resistencia a la indentación o penetración que posee un material (3).

Existen múltiples pruebas destinadas a calcular la dureza superficial, tales como:

- la *prueba de Brinell*, que se basa en la aplicación de una carga fija mediante un penetrador esférico que se abre paso sobre una superficie lisa del material;

- la *prueba de Rockwell* que utiliza un penetrador de diamante esferocónico o un penetrador esférico de acero, aplicando sucesivamente dos cargas y determinándose la profundidad permanente de la huella que se produjo bajo una carga menor y una mayor.

- la *prueba de Vickers*, en la cual se usa una maquina calibrada para aplicar una carga compresiva predeterminada, con un penetrador piramidal de diamante de base cuadrada y ángulos entre caras de 136° apoyado sobre la superficie del material bajo prueba. Para conocer la dureza después de retirar la carga se miden las diagonales de la huella resultante. Esta última prueba se utiliza principalmente para medir en materiales frágiles. Es por eso que fue usada para medir la dureza de la estructura dentaria.

El cálculo de la dureza Vickers se realiza de la siguiente forma:

$$HV = \frac{\text{constante x carga aplicada (gr.)}}{\text{Promedio de las diagonales (micrones)}}$$

Esta fórmula divide la carga por la superficie indentada. Esta última se calcula midiendo y promediando las diagonales obtenidas por el proceso de indentación. (3)

Como se puede apreciar, la dureza y la resistencia a la tracción diametral de los composites son propiedades mecánicas que inciden directamente en el comportamiento de este material en boca. Es por esta razón que es importante conocerlas, ya que así se aprovecharán de mejor manera a estos materiales. Y gracias a estas características, es posible utilizarlas en diversas situaciones clínicas, lo que ha llevado a que hoy en día se disponga materiales multifuncionales, es decir, una resina compuesta puede utilizarse tanto como material de restauración, y como material de fijación de estructuras indirectas. Actualmente, en el mercado se puede encontrar una resina compuesta fluida (Wave®) que posee esta cualidad. Wave®, según su fabricante SDI, es un composite fluido que se indica cuando la estética y el pulido son importantes. Fácil de aplicar y pulir, fue altamente aceptado en Ranking Dental Advisor. Se compone de UDMA, lo que minimiza la contracción y reduce la sensibilidad post operatoria. Wave no contiene Bisfenol A (Bis – GMA). (12)

Wave® posee múltiples indicaciones entre las que se cuentan:

- Restauraciones Clase I, II, III y IV
- Sellante de puntos y fisuras
- Liner cavitario radio-opaco
- Erosiones / abrasiones cervicales e incisales
- Sellante para implantes
- Reconstrucciones mínimas
- Cementación de veneers de porcelana, cerámica o composite

Esta última indicación clínica es la que llama la atención, puesto que existe un grupo de resinas compuestas cuya indicación específica es la cementación de estructuras. Estos materiales son los llamados cementos de resina.

Dentro del grupo de los cementos de resina, existe Variolink®, que según su fabricante Ivoclar – Vivadent®, es un composite de fijación de polimerización dual foto y auto polimerizable. (13)

Sus indicaciones son (13):

- Fijación adhesiva de cerámica
- Fijación adhesiva de restauraciones de cerámico (inlays, onlays, coronas y carillas)
- Puentes sin metal de Targis Vectris, IPS Empress 2.

Se le describen ventajas tales como (13)

- Disponible en 6 colores y dos gradientes de viscosidad.
- Sistema completo con todos los productos para completar la cementación adhesiva.

- Liberación de iones de flúor.
- Elevada radiopacidad.
- Reducida fotosensibilidad a la luz ambiente.
- Alta resistencia a la abrasión.

La presentación de Variolink® es en jeringas de 2.5 gr., tanto base como catalizador. Las jeringas base y catalizador poseen una gran gama de tonos (13).

Otro material que pertenece a esta familia de los cementos de resina es 3M™RelyX™ ARC Cemento de Resina Adhesivo, que es una resina compuesta de cementación permanente pasta – pasta, de doble polimerización o de curado dual, desarrollada para ser utilizada con el sistema adhesivo dental 3M Single Bond. Utilizado en esta combinación, este sistema está indicado para:

- cementar restauraciones indirectas como las coronas, puentes, puentes Maryland (adhesivos), inlays, onlays
- cementar pernos endodónticos.

Estas restauraciones indirectas pueden estar compuestas por porcelana, cerámica, composite pre - polimerizado, metal o porcelana fundida con metal. El sistema también puede ser utilizado para restauraciones adhesivas con amalgamas (adheridas). El cemento de Resina RelyX ARC proporciona un sistema de doble polimerización que tiene un tiempo de trabajo de aproximadamente 2 minutos. Posee un tiempo de fraguado por auto polimerización de 10 minutos desde el inicio de su mezcla. El material también puede ser foto curado para acelerar el tiempo de fraguado de la reacción, para las aplicaciones en las que la luz es accesible al cemento.

RelyX™ ARC viene dentro de un dispositivo llamado Dispensador 3M™ Clicker. Este dispositivo es similar a la jeringa de doble cañón. Sus dos tubos contienen las pastas A y B del cemento. Al activar la palanca, el dispositivo dispensa simultánea y precisamente cantidades iguales de cada pasta sobre el block de mezcla, lo que resulta menos sucio que el sistema polvo líquido, además de dejar menos cemento sobrante sobre el block de mezcla. (14)

Como se ha podido apreciar, se dispone una gran variedad de materiales para cementar estructuras estéticas indirectas, dentro de los cuales existen los cementos de resina de curado dual y algunas resinas fluidas. Pero, ¿Existen diferencias en el comportamiento mecánico entre los cementos de resina de polimerización dual, con respecto a una resina fluida? y, ¿Existen diferencias en estas propiedades, entre distintas marcas de cementos de resina de polimerización dual?

Con el objetivo de responder estas preguntas, se realizó este trabajo de investigación en que se comparan estas resinas utilizadas como material de fijación.

Hipótesis

Existen diferencias estadísticamente significativas en la dureza superficial y la resistencia a la tracción diametral, entre dos cementos de resina de curado dual, y una resina flow.

Objetivo General

Determinar la dureza y la resistencia a la tracción diametral en dos marcas comerciales de cementos de resina de curado dual y una marca comercial de resina flow.

Objetivos Específicos

- Determinar la tracción diametral de Cemento Vario Link®
- Determinar la tracción diametral de Cemento RelyX®.
- Determinar la tracción diametral de resina flow Wave®
- Determinar la Dureza Superficial de resina flow Wave®
- Determinar la Dureza Superficial de Vario Link®
- Determinar la Dureza Superficial de y RelyX®.
- Realizar un análisis comparativo de la tracción diametral entre resina flow Wave®, y los cementos Vario Link® y RelyX®.
- Realizar un análisis comparativo de la dureza superficial entre resina flow Wave®, y los cementos Vario Link® y RelyX®.

MATERIAL Y METODO

Este estudio se realizó en el Laboratorio de Biomateriales Dentales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile, en el Laboratorio de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile y en el Laboratorio de Prueba de Materiales de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Metropolitana.

Para efectos de este trabajo, se crearon 15 cuerpos de prueba, o probetas, para cada material, los que se realizaron con un formador de probetas de acero inoxidable, de 6mm de diámetro por 3 mm de alto, debidamente calibrado. Este formador de probetas se untó con vaselina y luego se colocó en el cada uno de los materiales, se esperó un tiempo de 30 segundos y luego se polimerizaron 40 seg. mediante una lámpara de foto curado de una marca determinada y estandarizada para todas las muestras.(15). El material Wave® sólo fue polimerizado por 40 segundos.

Cada espécimen obtenido era de forma cilíndrica de 6mm diámetro, por 3 mm de alto, los que se almacenaron en una estufa tipo Haneus a una temperatura de $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ y a 100% de humedad relativa durante 72 horas antes de someterlo a las siguientes pruebas. (15, 16)

a. Dureza superficial Vickers (HV):

Se utilizaron 5 probetas de cada material y la prueba se realizó con un durómetro, que indentó la superficie con un diamante de forma romboidal, aplicando una carga de 100 grs. Se observó la marca bajo microscopio, y se midieron las diagonales resultantes de la aplicación de la fuerza, y se promediaron entre ellas. Para facilitar la medición, se tiñeron las probetas con tinta roja en su superficie.

Para determinar la dureza superficial se aplicó la siguiente fórmula (11):

$$HV = \frac{\text{constante x carga aplicada (gr.)}}{\text{Promedio de las diagonales (micrones)}}$$

$$\text{Constante} = 1854.4 \quad \text{carga aplicada} = 100 \text{ gr.}$$

b. Tracción diametral o tracción por compresión:

Se utilizaron 10 probetas por cada material, a las cuales se les aplicó una fuerza de manera perpendicular al eje mayor de cada probeta. Esta prueba consistió en aplicar una carga de compresión sobre el diámetro de un cilindro corto, lo que generó tensión por tracción en el plano de aplicación de la fuerza.

Esta tensión por tracción es directamente proporcional a la carga de compresión aplicada. (3)

Para realizar esta prueba, se utilizó una máquina de ensayos universal Instron, y se trabajó con una escala de 0 a 500 Kg., con una sensibilidad de 0.1 Kg.

Las probetas fueron sometidas a una presión constante con una velocidad de desplazamiento fija sobre su diámetro, de 1mm/minuto, lo que generó tensión por tracción en el plano de aplicación de la fuerza, hasta su resistencia máxima, lo que determinó un valor de la compresión. (15, 16)

Los valores de tracción por compresión se determinaron analíticamente por expresiones teóricas que relacionan la tracción con los valores de compresión obtenidos experimentalmente:

$$X = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times t}$$

Donde: X: Tensión de tracción (kg/cm²)

P: Carga máxima de compresión, determinada experimentalmente (Kg.)

D: Diámetro de la probeta cilíndrica (cm)

T: espesor de la probeta (cm)

Para obtener el valor de X en megapascales, la expresión anterior se dividió por 10.2 (100/9.8)

$$X = \frac{1 \times (\text{Kg})}{10.21 (\text{cm}) \times (\text{cm})} = (\text{Mpa})$$

Todos los datos obtenidos en cada una de las pruebas mecánicas, fueron tabulados, analizados y sometidos al test T, con valor de confiabilidad de 0.05.

RESULTADOS

1. Dureza Superficial Vickers

A. RelyX

	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
HV	33	65,8	24,2	39,2	35,9
DS	4,7	18,5	10,9	0,3	2,6

Tabla I. RelyX. Dureza Vickers (HV)

B. Wave

	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
HV	14,7	13,2	16,4	18,5	11,9
DS	0,2	1,2	2,5	2,5	2,1

Tabla II. Wave. Dureza Vickers (HV)

C. Variolink

	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
HV	28,1	26,1	18,5	16,4	22,5
DS	4,1	2,7	2,7	4,2	0,1

Tabla III. Variolink. Dureza Vickers (HV)

	RELYX	WAVE	VARIOLINK
HV	39.62	14.94	22.32
DS	15.66	2.60	4.93

Tabla IV. Dureza Vickers promedio y desviación standard (DS) de RelyX, Wave y Variolink.

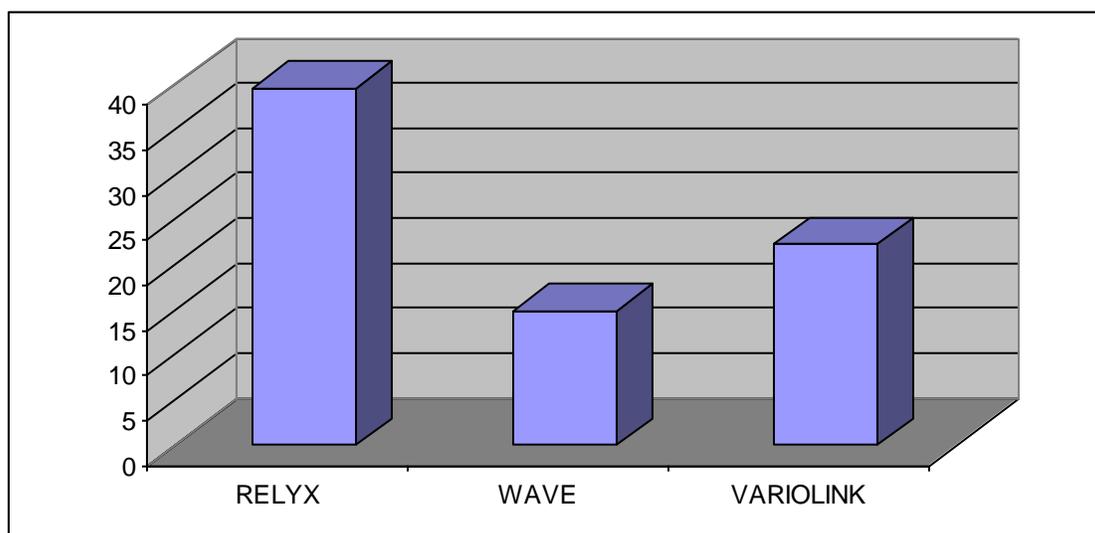


Gráfico 1. Dureza Vickers Promedio.

	RELYX	WAVE	VARIOLINK
RELYX		0.008	0.046
WAVE	0.008		0.018
VARIOLINK	0.046	0.018	

Tabla V. Análisis comparativo de Dureza Vickers entre materiales estudiados. (p)

2. Resistencia a la Tracción Diametral

A. RelyX.

MUESTRA	Tracción diametral
1	41,85
2	33,29
3	27,4
4	34,546
5	35,308
6	37,734
7	31,318
8	28,654
9	31,993
10	35,308

Tabla VI. RelyX. Tracción diametral (MPa)

B. Wave

MUESTRA	Tracción diametral
1	44,077
2	52,701
3	56,992
4	47,37
5	43,238
6	63,702
7	51,793
8	41,023
9	33,892
10	33,348

Tabla VII. Wave. Tracción diametral (MPa)

C. Variolink

MUESTRA	Tracción diametral
1	32,593
2	17,959
3	15,303
4	15,863
5	16,146
6	33,88
7	36,542
8	18,434
9	38,372
10	37,513

Tabla VIII. Variolink. Tracción diametral (MPa)

	RELYX	WAV	VARIOLINK
TRACCION DIAMETRAL	33.74	48.8	26.26
DS	4.25	9.72	10.21

Tabla IX. Tracción diametral promedio, desviación standard (DS) de RelyX, Wave y Variolink.

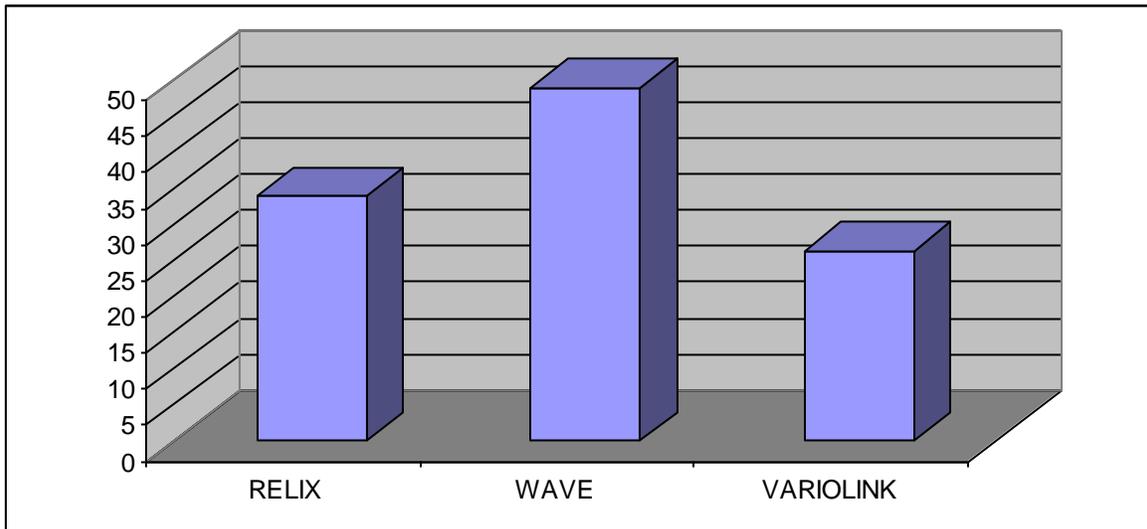


Gráfico 2. Tracción diametral promedio

	RELYX	WAVE	VARIOLINK
RELIX		0	0,046
WAVE	0		0
VARIOLINK	0,046	0	

Tabla X. Análisis comparativo de Tracción Diametral entre materiales estudiados. (p)

DISCUSIÓN

De acuerdo a los datos obtenidos en este trabajo, se pudo establecer que existen diferencias significativas en la dureza superficial Vickers y la resistencia a la tracción diametral entre RelyX, Wave y Variolink.

En el test de dureza superficial Vickers se pudo establecer que RelyX fue el material que se comportó con mayor dureza superficial, seguido de Variolink y, finalmente Wave. (Tabla IV) Estas diferencias fueron estadísticamente significativas (tabla V). Además se observaron diferencias significativas en la dureza superficial Vickers entre Wave y Variolink (Tabla V)

La menor dureza que presentó Wave puede explicarse por el bajo relleno que posee, que es de un 50% por volumen, en comparación con los cementos de resina que poseen un relleno, en general, del orden del 60% por volumen (8). Por otra parte, la menor dureza que se observó puede explicarse por el bajo módulo de elasticidad que poseen las resinas fluidas, lo que le otorga mayor elasticidad que el resto de la familia de los composites. (15)

Este último comportamiento fue observado al realizar el test de Dureza Superficial Vickers, donde se pudo apreciar bajo el microscopio, que Wave presentaba un grado de recuperación visible al poco tiempo de indentar la superficie de las muestras, no así con RelyX y Variolink.

Por otra parte, los resultados obtenidos al medir la dureza superficial de Wave, concuerdan con estudios que indican que las resinas compuestas que contienen el monómero Bis- GMA poseen una mayor dureza que otras resinas que no lo contienen. (17, 18, 19) En la formulación de Wave, el Bis - GMA no se encuentra. Además, esta resina fluida posee estroncio dentro en la composición de su relleno. El estroncio permite un mejor pulido y mejora las propiedades ópticas de este material, pero a la vez otorga una menor dureza. (18)

Al comparar entre RelyX y Variolink, el primero posee una dureza superficial significativamente mayor que Variolink. (Tabla V). La diferencia entre RelyX y Variolink puede explicarse por el tipo de monómero que compone la matriz de cada uno de estos materiales. Como se mencionó anteriormente, la presencia de Bis – GMA actúa de manera directamente proporcional a la dureza superficial de un material (17, 18, 19) En el caso de RelyX, el monómero corresponde en su mayoría a Bis – GMA con una menor parte de TEGDMA; en el caso de Variolink, corresponde a una matriz mixta que posee una mayor proporción de UDMA y una menor de Bis – GMA.

La mayor presencia de Bis – GMA en RelyX le otorga una mayor dureza superficial que Variolink. Esto coincide con algunos estudios como el de Piwowarczyk et al., donde se observó que existía una diferencia significativa en la dureza superficial entre estos dos cementos, favorable a RelyX (21)

Al revisar la literatura, se puede destacar que existen algunos factores que influyen directamente en la dureza superficial de los cementos de resina. Estos factores son el mecanismo de polimerización al que son sometidos los cementos de resina y el grosor de la estructura a cementar. Con respecto al mecanismo de polimerización, García Fonseca et al (22) compararon distintos cementos de resina duales, bajo distintos regimenes de polimerización, es decir, un grupo solamente auto polimerizado y otro grupo bajo polimerización dual. Los resultados obtenidos indican que los cementos duales que no son foto polimerizados y sólo son sometidos a auto polimerización, presentan un menor valor de dureza superficial Vickers. Este menor valor de dureza sería resultado del mecanismo de polimerización, ya que el mecanismo de auto polimerización genera polímeros que poseen propiedades mecánicas inferiores a los presentes en los composites foto polimerizados.

Por otra parte, El - Mowafy et al y El-Badrawy et al (17, 18,19) compararon la dureza superficial de varios cementos de curado dual al cementar estructuras estéticas indirectas de distintos espesores en piezas dentarias extraídas, y sometidas a polimerización dual, aplicándoseles luz halógena desde oclusal hacia apical durante 40 segundos. Al observar los resultados, se logró determinar que existe un espesor máximo de estas estructuras indirectas, que no debe ser mayor a 6 mm para alcanzar los valores ideales de dureza del cemento utilizado. Un grosor mayor puede llegar a disminuir significativamente la dureza superficial, lo que puede ir en desmedro de la estructura a cementar. (17).

Este último estudio confirma que los composites que endurecen por un mecanismo mayormente autógeno, presentan propiedades mecánicas inferiores a los que foto polimerizan, ya que al existir un mayor grosor de la estructura indirecta a cementar, la luz encuentra mayores dificultades para llegar a la zona donde se encuentra el cemento y así poder foto polimerizar las moléculas de monómero. .

Entonces, la mayor dureza superficial Vickers de RelyX en comparación con Variolink se explicaría en primer lugar, por la presencia de una mayor cantidad de Bis – GMA en RelyX y, en segundo lugar por el mecanismo de polimerización que predomina. En el caso de Variolink existe mayor cantidad de monómero auto polimerizado al momento de ser sometido a la luz halógena, ya que en el presente estudio se esperó un tiempo de 30 segundos antes de aplicar luz halógena a los cementos de resina estudiados. Entonces, se puede inferir que Variolink generó una mayor cantidad de monómero mediante auto polimerización que RelyX, lo que otorga propiedades mecánicas inferiores que las de este último.

En lo que respecta a la resistencia a la tracción diametral, la Asociación Dental Americana (ADA) acepta una resistencia a la tracción diametral para resinas compuestas, de 35 a 40 MPa. Analizando los resultados obtenidos en la tabla IX, se observa que tanto RelyX y Wave están sobre los valores recomendados por la ADA. Por el contrario, Variolink obtuvo un valor inferior.

De los materiales estudiados y sometidos a análisis, se observó que Wave fue quien tuvo una mayor resistencia a la tracción diametral, seguido de RelyX y por último, de Variolink. (Tabla IX). Las diferencias encontradas al comparar los grupos entre si, fueron estadísticamente significativas (Tabla X).

En este estudio, Wave fue quien presentó mayor resistencia a la tracción diametral, debido al tipo de polimerización que posee, que corresponde a un mecanismo de foto polimerización, con lo que se obtiene un polímero que se comporta con propiedades mecánicas superiores a un composite auto polimerizado..

En el caso de RelyX y Variolink, ambos polimerizan mediante un mecanismo de auto curado y de foto curado, y es este primer mecanismo el que favorece la existencia de cadenas poliméricas que se comportan con propiedades mecánicas inferiores a las que posee Wave, razón por la cual la resistencia a la tracción diametral de estos cementos, es menor que la de Wave (21)

Otra característica que otorga mayor resistencia a la tracción diametral, es el tipo de monómero presente en cada material. En el caso de Wave, es UDMA. La presencia de UDMA dentro de la matriz otorga mayor flexibilidad. (25)

Como se mencionó, RelyX se comportó con una resistencia a la tracción diametral significativamente mayor que Variolink. Ambos cementos poseen un mecanismo de curado dual. En otras palabras, estos cementos poseen un mecanismo de auto curado y de foto curado. Como se mencionó, la reacción de auto curado genera cadenas poliméricas de menor longitud que las cadenas generadas por foto curado.

Estos resultados coinciden con otros estudios, como el que realizó Piwowarczyk et al. (21) y Braga et al (20), que comparó cuatro cementos de resina de curado dual, y los dividió en dos grupos: los polimerizados solamente mediante auto curado y, los sometidos a polimerización dual. En otras palabras, solamente el segundo grupo fue sometido a luz halógena por 40 segundos y además se les permitió auto polimerizar. Al analizar los resultados, encontró una resistencia a la tracción diametral menor en RelyX y Variolink al ser solamente auto polimerizados. La diferencia en la resistencia a la tracción diametral entre ellos se mantuvo, es decir RelyX se comportó con mayor resistencia a la tracción diametral que Variolink en ambos grupos

En estos estudios, se sugiere foto polimerizar al cementar una estructura con cementos de resina duales, ya que así se alcanzarán de mejor manera las propiedades mecánicas deseadas. (20, 23)

En base a estas investigaciones, el mecanismo de polimerización aparece como un factor crucial que explicaría la mayor resistencia a la tracción diametral de RelyX en comparación con Variolink, ya que este último poseería mayor cantidad de monómero auto polimerizado que RelyX, lo que resultaría en una menor resistencia a la tracción diametral en comparación a RelyX.

Una vez ya analizadas la dureza superficial y la resistencia a la tracción diametral, se puede inferir que otras propiedades mecánicas podrían variar entre estos tres materiales. Una de ellas es el comportamiento elástico que presentan estos materiales.

La elasticidad se define como la característica que poseen algunos cuerpos de deformarse al ser sometidos a una fuerza, pero al cesar dicha carga, recuperar su forma original. Al realizar el test de dureza, se observó que Wave tuvo un mayor grado de recuperación elástica, lo que fue observado directamente bajo el microscopio óptico al realizar las mediciones correspondientes. Nuevamente, el tipo de monómero que compone a cada material, aparece como uno de los factores que determina la diferencia entre ellos.

Como algunos estudios lo han demostrado, existe una relación directamente proporcional entre la presencia de UDMA y la elasticidad que posee un material (25).

Al observar la composición de Wave, se puede apreciar que el monómero que lo compone es exclusivamente UDMA, lo que explica la mayor elasticidad que presentó. Pero al analizar los componentes presentes en los cementos de resina, se observa que Variolink posee una pequeña cantidad de UDMA y RelyX no lo posee. De acuerdo a esto, Variolink debió presentar un comportamiento más elástico que RelyX, lo cual no ocurrió. Por el contrario, fue RelyX quien presentó mayor elasticidad que Variolink. Entonces, la explicación de esta diferencia estaría dada por el mecanismo de polimerización.

Se sabe que los composites que presentan un mecanismo de polimerización autógeno, ofrecen propiedades mecánicas inferiores a las resinas compuestas foto activadas. De acuerdo a esta aseveración, se puede suponer que Variolink poseería mayor cantidad de monómero auto polimerizado que RelyX, razón por la cual tendría un comportamiento mecánico inferior a RelyX, y la elasticidad es una de estas propiedades mecánicas afectadas.

Este razonamiento permite explicar de igual manera el comportamiento más elástico que presentó Wave en comparación a los cementos de resina, ya que Wave presenta un mecanismo de polimerización puramente foto activado. Por el contrario, RelyX y Variolink poseen un mecanismo de curado dual, lo que determina la existencia de una cierta cantidad de polímeros resultantes de la auto polimerización, lo que determina un comportamiento menos elástico que Wave.

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación, se realizó un análisis comparativo *in vitro* de dos propiedades mecánicas, dureza superficial y resistencia a la tracción diametral, de dos marcas comerciales de cementos de resina dual (RelyX, Variolink), y una resina compuesta fluida (Wave).

Al analizar los resultados, en un primer lugar se pudo determinar que entre los tres materiales estudiados, el orden creciente de dureza superficial Vickers fue Wave, Variolink y RelyX. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas.

En segundo lugar, se determinó que el material con mayor resistencia a la tracción diametral fue Wave, seguido de RelyX y, finalmente de Variolink. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas.

RESUMEN

En este trabajo se realizó un estudio comparativo *in vitro*, en el que se comparó la dureza superficial Vickers y la resistencia a la tracción diametral de dos marcas comerciales de cementos de resina dual (RelyX, Variolink) y una resina fluida (Wave). Se crearon 15 probetas cilíndricas de 6mm por 3 mm para cada material, las cuales fueron foto polimerizadas por 40 segundos, previa espera de 30 segundos en el caso de los cementos de resina. Se utilizaron 5 probetas de cada material para la prueba de dureza superficial Vickers. Esta se realizó con un durímetro, que indentó la superficie con un diamante de forma romboidal, aplicando una carga de 100 grs. La superficie marcada fue medida bajo microscopio. Para la prueba de tracción diametral, se utilizaron 10 probetas de cada material. Las probetas fueron sometidas a una presión constante con una velocidad de desplazamiento fija sobre su diámetro, de 1mm/minuto, lo que generó tensión por tracción en el plano de aplicación de la fuerza, hasta su resistencia máxima, lo que determinó un valor de la compresión, que fue sometido a una ecuación para poder calcular el valor de tracción por compresión. Los datos obtenidos fueron tabulados, analizados y sometidos al Test T. Los resultados obtenidos mostraron que el material con mayor dureza superficial fue RelyX, seguido de Variolink y, finalmente Wave. La resistencia a la tracción diametral mayor fue la de Wave, seguido por RelyX, y finalmente por Variolink. Las diferencias encontradas entre los tres materiales fueron estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$)

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Robert G. Craig. William J. O'Brien. "Materiales Dentales: Propiedades y manipulación", 6º edición, 1996, Pág.;55, 64
- (2) Ehrmantraut M. "Estudio Comparativo de la microfiltración de compómeros realizados con y sin grabado ácido total de la cavidad operatoria". Revista Facultad de Odontología Universidad de Chile, Vol. 17 N° 2; págs:48 - 54
- (3) Phillips, Ralph W. "Ciencia de los Materiales Dentales"10º edición, Editorial Interamericana, 1998, págs: 49 – 51, 59 – 63, 171 - 172, 234.)
- (4) Uribe Echeverría J. "Operatoria Dental. Ciencia y práctica", 1990, págs.: 213 – 215
- (5) Ferracane, JL. "Current trends in Dental Composites". Crit. Rev. Oral Biol..Med; 6(4):302-318. 1995
- (6) Pereira S, Osorio R, Toledano M, Nunes T. "Evaluation of two Bis-GMA analogues as potential monomer diluents to improve the mechanical properties of light-cured composite resins." Dent Mater.; 21(9):823-30. Septiembre 2005
- (7) Moncada G. y col. "Unidades de luz visible". Revista dental de Chile. págs.:37 – 43. 1989
- (8) Abate P. "Alternativas en materiales plásticos estéticos para el sector posterior". Rev. A.O.A.. Vol. 86; 390 – 395. 1998
- (9) Ferracane JL. "Nuevos Polímeros para Restauraciones Dentales". Management Alternatives for the Carious Lesion. Proceedings from the International Symposium. Charleston. EE UU. Operative Dentistry;6(4): 199 -209. 2001

- (10) Lia Mondelli; Anuradha P., Cilli R, Fidela de Lima M., Mondelli J. " Surface roughness average and scanning electron microscopic observations of resin luting agents" J. Appl. Oral Sci. vol.11 no.4 Bauru Oct. / Dec. 2003
- (11) Macchi L. "Materiales Dentales: Fundamentos para su estudio". 2º edición. Editorial Panamericana, 1998, págs.:27 – 33
- (12) www.sdi.com.au
- (13) www.ivoclar.com.mx/productosclinical.html
- (14) www.3mespe.com
- (15) Jofré F., M. "Análisis comparativo de propiedades mecánicas de tres resinas compuestas para restauraciones en piezas posteriores" . Trabajo de investigación requisito para optar al título de Cirujano Dentista. Universidad de Chile. Facultad de Odontología 1989
- (16) Tobar S., Elena. "Análisis comparativo *in vitro* de propiedades mecánicas de compómero correspondiente a cuatro marcas comerciales".Trabajo de investigación requisito para optar al título de cirujano dentista. Universidad de Chile. Facultad de Odontología. 2000.
- (17) El-Badrawy W. – El Mowafy O. "Chemical versus dual curing of resin inlay cements", J Prosthet Dent.; 73(6):515-24. Junio 1995
- (18) Omar M. El-Mowafy, Marcia H. Rubo "Influence of Composite Inlay / Onlay thickness on hardening of Dual-cured Resin Cements" J Can Dent Assoc; 66: 147. 2000
- (19) Hasegawa E., Boyer D., Chan D. "Hardening of dual-cured cements under composite resin inlays".J. Prosthet Dent.; 66(2):187-92. Agosto 1991

- (20) Braga R, Cesar P, Gonzaga C. "Mechanical properties of resin cements with different activation modes." *J Oral Rehabil.*; 29(3):257-62. Marzo 2002
- (21) Piwowarczyk A. et al. "In vitro study of the Mechanical Properties of Luting Cements". ASDR/AADR Abstract Highlights and Internal Test Data. 2002
- (22) Garcia Fonseca R., dos Santos C.; Adabo "The influence of chemical activation on hardness of dual curing cements" *Braz. oral res.* vol.18 no.3 July/Sept. 2004
- (23) Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ Jr, Stamatiades P, Wilkerson M. "A characterization of first-generation flowable composites." *J Am Dent Assoc.*; 129(5):567-77. Mayo 1998
- (24) Geraldi, S. and Perdigao, J. Microleakage of a New Restorative System in Posterior Teeth. *J. Dent. Res.* 81, Sp Iss Abs: 1276. 2003.
- (25) Asmussen A., Peutzfeldt A. "Influence of UDMA, BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites" *Dent Mater.* 18(3); 51-56 January 1998