



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**“Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de resinas acrílicas sometidas a diferentes métodos de curado y pulido”**

**TESISTA:**

**OD. CLAUDIO MARIO GOTUSSO**

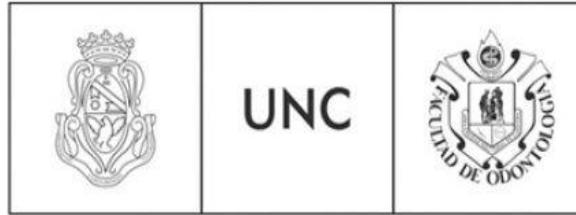
**DIRECTOR:**

**PROF. DR. GUILLERMO DE LEONARDI**

**CÓRDOBA, 2017**



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA  
ESCUELA DE POSGRADO**

Trabajo de Tesis para optar al título de Doctor en Odontología

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS  
DE RESINAS ACRÍLICAS SOMETIDAS A DIFERENTES MÉTODOS DE  
CURADO Y PULIDO”**

Doctorando

**OD. CLAUDIO MARIO GOTUSSO**

Director de tesis

**PROF.DR. GUILLERMO DE LEONARDI**

Córdoba 2017

Comisión de tesis

**Prof.Dra.Ana Azcurra**

**Prof.Dra.Andrea Kaplan**

**Prof.Dr.Carlos Oldani**

Jurado

**Prof.Dra.Ana Azcurra**

**Prof.Dr.Carlos Oldani**

**Prof.Dr.Gustavo Molina**

## DEDICATORIA

*A la memoria de mi madre Teresa, por su cariño y dedicación incondicional.*

*A mi padre Mario, por ser mi gran profesor en la vida y en la profesión.*

*A mi querida esposa Ana, por su apoyo, comprensión y por el tiempo no compartido.*

*A mis hijos Rocío, Santiago y Delfina, luces de mis ojos, quienes inspiraron mi esfuerzo.*

*A mis hermanos y sobrinos.*

## AGRADECIMIENTOS

*A la Facultad de Odontología de la U.N.C por la formación que me brindó y por permitirme desarrollar este proyecto.*

*A mi Director de Tesis, Prof. Dr. Guillermo De Leonardi, por su guía, asesoramiento y permanente estímulo.*

*A los miembros de la Comisión de Tesis y Jurado, Prof. Dra. Ana Azcurra, Prof. Dr. Ing. Carlos Oldani, Prof. Dra. Andrea Kaplan y Prof. Dr. Gustavo Molina por sus valiosos consejos, aportes y cordial acompañamiento.*

*Al Área de Biología Oral (ABO) y en especial al Ing. Luis Croharé por su colaboración y asesoramiento continuo.*

*Al Dr. Sergio Azcona y al laboratorio Denthum por su colaboración y asesoramiento técnico.*

*A los Profesores Dr. José Atala y Dr. Ricardo Rico, a mis colegas amigos, personal docente y no docente de la cátedra de Prostodoncia II “A”.*

*A la Secretaría de la Escuela de Posgrado y en especial a sus integrantes Sra. Liliana Dajruch y Sofía Arach.*

*A todas aquellas personas que de alguna forma colaboraron para la realización de este trabajo de Tesis.*

## ÍNDICE

<u>Resumen</u>	6
<u>Abstract</u>	7
<u>Introducción</u>	8
<u>Marco Teórico</u>	20
<u>Objetivo principal</u>	23
<u>Objetivos específicos</u>	24
<u>Materiales y métodos</u>	25
<u>Resultados</u>	45
<u>Discusión</u>	71
<u>Conclusiones</u>	78
<u>Consideraciones finales</u>	80
<u>Propuestas</u>	82
<u>Bibliografía</u>	83

## RESUMEN

El polimetilmetacrilato o resina acrílica es el material de mayor difusión para la elaboración de prótesis y aparatos removibles en odontología, los cuales deben poseer una adecuada superficie pulida a fin de producir mayor confort, evitar irritaciones en la mucosa oral y acumulación de placa bacteriana. En el año 1969 aparece la técnica del pulido químico del acrílico para obtener una superficie brillante similar al pulido mecánico convencional. En 1968 Nishii publica el primer trabajo sobre el termocurado de las resinas en horno de microondas, En la década del ochenta se empiezan a elaborar resinas formuladas para esta técnica de curado. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto del pulido químico en las propiedades físico- mecánicas y dureza del acrílico de termocurado por microondas y en el acrílico de termocurado en agua. Se elaboraron 60 patrones rectangulares para las pruebas de deflexión transversa, resistencia, módulo elástico, tenacidad y fuerza máxima subdivididas en grupos de patrones sin pulido químico, con pulido químico clásico y con pulido químico moderado en resina de termocurado en microondas y en resina de termocurado en agua. Para las pruebas de dureza se confeccionaron 30 discos subdivididos de igual forma en ambos materiales. Los resultados fueron sometidos al análisis de ANOVA y test de Tukey y muestran que entre los materiales, luego del pulido químico, las diferencias en las propiedades mecánicas no son significativas. El pulido químico clásico alteró significativamente las propiedades físicas y dureza, principalmente en las resinas para curado en microondas. Éstas presentaron mejores valores comparadas al acrílico de curado en agua con el pulido químico modificado, a excepción de la propiedad de dureza, en donde los mayores valores se registraron con el pulido mecánico en los dos tipos de resinas.

## SUMMARY

Polymethylmethacrylate or Acrylic Resin is the most used material in the elaboration of dental prosthesis and removable appliances in dentistry; which need to have an adequate polished surface in order to give more comfort, and to avoid irritation of the oral mucosa and the accumulation of plaque. In 1969 emerges the technique of the chemical polishing of acrylic, to obtain a shiny surface similar to the one resulting from a conventional mechanical polishing. In 1968 Nishii publishes the first report on microwave-cured resins, and in the 80's starts the manufacture of such type of resins. The aim of this work was to analyze the effects of the chemical polishing on the physicochemical properties and the hardness of both microwave-cured acrylic and acrylic heat-cured in water.

Sixty rectangular plates were made in order to test the transversal deflection, flexural strength, elastic modulus, toughness and maximum strength. These plates were subdivided in groups with no chemical polishing, with conventional polishing and with a moderate chemical polishing, with resins heat-cured in a microwave and in water. Thirty discs were made for the hardness tests, equally subdivided for both materials. The results underwent the Analysis of variance (ANOVA) and the Test of Tukey, which showed that, after the chemical polishing, the differences on the mechanical properties of the materials are not significant. The conventional polishing changed the physical properties and hardness of the resins, especially on the ones heat-cured in a microwave. These resins showed better values compared to the acrylic ones cured in water with a modified chemical polishing, except on the hardness property, where the higher values were obtained with the mechanical polishing in both types of resins.

## INTRODUCCIÓN

Durante su existencia, el hombre siempre estuvo preocupado por el cuidado de sus elementos dentarios y de la mejor manera de reemplazarlos cuando estos se perdían.

Desde el año 1937 los polímeros de polimetilmetacrilato han sido utilizados para la elaboración de bases protéticas removibles. Relata la historia, que se utilizaron diversos materiales para la confección de placas que sirvieran de apoyo y contención a los dientes artificiales.

A partir del renacimiento se encuentran los primeros registros de descripciones de diferentes tipos de tratamiento para el reemplazo de los elementos dentarios naturales, desde la utilización de ceras, gomas, marfil, oro, porcelana y una de las más extendidas en su uso como el celuloide, la vulcanita y el caucho que se utilizaron hasta fines de los años 30 del siglo pasado.

Ninguno de estos materiales logró satisfacer los requisitos de biocompatibilidad mínimos para su uso en boca.

La aparición de los polímeros sintéticos y a partir de ellos un material denominado comúnmente resina acrílica o polimetacrilato de metilo, representó una revolución en la odontología en lo que respecta principalmente a la técnica sencilla de fabricación para bases de prótesis removibles parciales y totales.

Entre sus principales características se destacan por ser económicas y poseer los requisitos necesarios para ser usados en la cavidad bucal (Phillips 2004, Macci 2007)

Con respecto a sus propiedades podemos nombrar:

### Propiedades biológicas

Las resinas deben ser insípidas, inodoras, no tóxicas ni irritantes a los tejidos bucales, insolubles a la saliva u otra secreción presente en la boca, deben ser impermeables a los fluidos bucales y no ser desagradables en sabor y olor.

### Propiedades físicas:

Las resinas deben tener adecuada resistencia y resiliencia para resistir las fuerzas de la masticación, el impacto de fuerzas y el stress que se genere dentro de la cavidad bucal. Deben ser dimensionalmente estables ante los cambios de temperatura y de carga.

Cuando se la usa como base de prótesis para maxilar superior, su peso específico debe ser bajo.

### Propiedades estéticas

Los acrílicos deben ser translúcidos y transparentes y capaz de ser teñidos o pigmentados y no tener cambios de color o apariencia posterior a la fabricación del aparato protético.

### Características de manejo

No debe producir residuos tóxicos o sustancias durante su manejo y manipulación. Debe ser fácil de mezclar, insertar, dar forma y curar, e insensible a la variación de estos procedimientos. Complicaciones clínicas como inhibición de oxígeno, contaminación con saliva y sangre deben ser pequeñas y no tener ningún efecto final.

Deberá también ser fácil de pulir y factible de reparar en caso de fractura.

### Consideraciones económicas

El costo de las resinas y procesamiento deben ser bajos y no requerir equipamiento complicado ni demasiado oneroso.

### **Características generales**

Las resinas acrílicas son unas resinas sintéticas, cuerpo químico artificial derivado del ácido acrílico análogo al polimetacrilato (PMMA) de metilo. Se caracterizan por ser estables en el color, insípidas, propiedades térmicas adecuadas, estabilidad dimensional y aptas en sus propiedades ópticas y físicas en condiciones intraorales normales, además de ser económicas y relativamente fáciles para ser procesadas.

Este material se suministra habitualmente en forma de polvo y líquido. El líquido es la forma monómerica del metacrilato o metilmetacrilato predominantemente no polimerizado con pequeñas cantidades de hidroquinona que se añade como inhibidor ya que el metacrilato puede iniciar su polimerización con la exposición a luz ultravioleta, luz visible o calor. Es un líquido transparente que se caracteriza por presentar un punto de fusión de  $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ , un punto de ebullición de  $100,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una densidad de  $0,945\text{ g/ml}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Phillips 2004).

El polvo o polímero es la forma prepolimerizada del polimetilmetacrilato en pequeñísimas esferas y una pequeña cantidad de peróxido de benzoilo como iniciador.

La proporción aceptada de polímero-monómero es de 3:1 por volumen. Esto asegura al monómero suficiente humectación de las partículas del polvo y evita el exceso del monómero que puede incrementar la contracción de polimerizado.

Usando una proporción de 3:1, la contracción volumétrica puede limitarse aproximadamente al 6% (0,5% de contracción lineal) (Phillips 2004, Macci 2007).

Cuando estos componentes se mezclan en una proporción adecuada, se produce una masa modelable de estructura reticular que luego se introduce en un molde con la forma deseada, se termina de curar dentro de un baño de agua caliente en forma gradual, y posteriormente se limpia, pule y acondiciona para su instalación en la cavidad bucal.

Este es un procedimiento que por lo general insume muchas horas de trabajo de laboratorio.

Durante la combinación del polvo y líquido se inicia una reacción, y como dijimos se produce una masa de fácil manipulación y que pasa por cinco etapas (Phillips 2004):

1-Arenosa: escasas interacciones moleculares y la mezcla es granulosa. Debe quedar una superficie similar a un espejo.

2-Filamentosa: cada perla de polímero es atacada por el monómero dispersándose en el mismo y dan como resultado una masa elástica y pegajosa.

3-Pastosa: se forman mayor cantidad de cadenas poliméricas pero persiste una gran cantidad de partículas de polímero sin disolver. La mezcla es flexible, suave y deja de ser pegajosa. Etapa ideal para el moldeado por compresión.

4-Gomosa: en esta etapa el monómero desaparece por evaporación y por terminar de penetrar en las partículas de polímeros residuales. La pasta recupera su forma cuando se la comprime o estira y sufre una reacción exotérmica.

5 Rígida: la rigidez es producto de la evaporación del monómero. La masa está seca y solidificada.

El proceso de endurecimiento de las resinas acrílicas las divide en resinas de polimerización química o de autocurado, y resinas de polimerización térmica o de termocurado. Si bien son prácticamente de aspecto idéntico, se eligen estas últimas para confeccionar la mayoría de las bases protéticas, ya que poseen mejores propiedades físicas.

Las resinas termocurables están constituidas por PMMA (poli metil metacrilato) y tienen como iniciador para la polimerización al peróxido de benzoilo. Este, superando los 60°C, se activa descomponiéndose en radicales libres que reaccionan con las moléculas de monómero disponibles para iniciar la polimerización de crecimiento en cadena, de modo que las moléculas adicionales de monómero llegan a unirse a las cadenas del polímero. Estas resinas llegan a un estado gomoso pasando al rígido sólo mediante la termopolimerización.

La química de las resinas autocurables es igual a las termocurables excepto en que el proceso de curado es iniciado por una amina terciaria que es la dimetil-p-toluidina o ácido sulfónico. Este método de curado es a temperatura ambiente y es tan eficiente como el calor y da como resultado un material de peso molecular más bajo lo cual incide negativamente en sus propiedades de resistencia y origina una cantidad de monómero residual y libre no curado de entre el 3 al 5% en la masa de la resina, contra un 0,2 a 0,5% que presentan las de termocurado (Phillips 2004). El límite establecido por la ADA es de 0,04mg /cm<sup>2</sup> y de 2,2% como máximo establece la norma ISO 1567:1997. Completa los cinco estadios sin necesidad de la presencia del calor.

Durante la fabricación de las prótesis, se aplica calor gradualmente a la resina termocurable mediante inmersión en baño de agua, en una mufla metálica para prótesis o en un portamuflas.

De los acrílicos termopolimerizables que encontramos en el mercado podemos decir que existen dos tipos, uno por polimerización a baño de agua caliente y otro que se polimeriza a través de un horno de microondas de uso culinario.

La ADA o Asociación Dental Americana (American Dental Association 1975) clasifica a las resinas para bases de prótesis en:

- Tipo 1: termopolimerizables.

Clase I: polvo y líquido.

Clase II: pastilla plástica.

- Tipo 2: autopolimerizables.

Clase I: polvo y líquido.

- Tipo 3: resinas termoplásticas.

Las normas ISO 1567 del año 1988 (Gil Villagra 2000) establecen esta clasificación basándose en el tipo de procesado y en la forma de presentación:

- Tipo 1: polímeros termoprosesados.

Clase 1: polvo y líquido.

Clase 2: pastilla plástica.

- Tipo II: polímeros autopolimerizados.

Clase 1: polvo y líquido.

Clase 2: polvo y resinas líquidas fluídas.

- Tipo III: polvo termoplástico.

En la tercera edición de las normas ISO del año 1997 se han agregado dos grupos más:

- Tipo IV: materiales fotopolimerizables.
- Tipo V: materiales polimerizables mediante energía de microondas.

## Propiedades físicas de las resinas para prótesis dentales

Para entender el comportamiento de las resinas para base de prótesis mencionaremos las características más importantes y que influyen en el comportamiento y funcionamiento de las prótesis removibles una vez instaladas en boca. En esta descripción nos basaremos en las que desarrolló Phillips (2004).

**Contracción de polimerizado:** Cuando la resina convencional termocurada se mezcla en la proporción de polvo y líquido sugerida (3:1) la contracción volumétrica mostrada por la masa polimerizada es alrededor del 6 al 7%. Este porcentaje está de acuerdo con valores observados en investigaciones de laboratorio y clínicas.

La adaptación de la base a los tejidos blandos subyacentes no es afectada significativamente cuando los materiales son manipulados en forma apropiada.

También existe lo que se denomina contracción lineal, la cual influye significativamente en la adaptación a la base de la prótesis y el engranamiento cuspídeo entre los dientes.

Por convención, los valores de contracción lineal se determinan por la medición de la distancia entre dos puntos de referencia predeterminados en la región del segundo molar de la prótesis total. Después que la prótesis es removida de la mufla se deben medir nuevamente los puntos de referencia. La diferencia entre las medidas se registra como contracción lineal.

Cuanto mayor sea esta medida, mayor será la discrepancia en el ajuste inicial de la prótesis. Si se tiene en cuenta que la contracción volumétrica proyectada es del 7%, la contracción lineal que presentará una prótesis será del 2%, siendo lo ideal menos del 1%.

El examen del proceso de polimerizado indica que la contracción térmica de la resina es primariamente responsable del fenómeno de contracción lineal en los sistemas de termocurado. La presión mantenida sobre la mufla ensamblada causa en la resina una contracción de aproximadamente igual velocidad a la del yeso piedra que la rodea.

Las resinas de autocurado o curado químico cuando son usadas para la confección de prótesis muestran, según Phillips (2004) mejor adaptación que las construidas con resinas termocuradas. La razón estaría dada a que no hay contracción térmica negativa. Así mismo hay otros factores que influyen sobre los cambios dimensionales de

las bases como lo son el tipo de revestimiento elegido, el método de aplicación de la resina, y la temperatura empleada para activar la polimerización.

Las técnicas de resinas fluidas usadas en conjunto con los materiales de hidrocoloides producen disminución de la dimensión vertical en el paciente. En cambio las prótesis elaboradas utilizando resinas por curado térmico o químico en conjunto con las técnicas de moldeado por compresión muestran incrementos de la dimensión vertical, lo cual se considera deseable o menos perjudiciales dado que permiten corregir la dimensión por medio de desgastes oclusales de los elementos dentarios artificiales.

**Porosidad:** la presencia de poros superficiales o internos pueden comprometer las propiedades físicas, estéticas e higiénicas de una prótesis. Tales poros resultan de la vaporización del monómero no reaccionado y del polímero de bajo peso molecular, cuando la temperatura de una resina alcanza o sobrepasa los puntos de ebullición de estas.

Los poros también resultan de un mezclado inadecuado del polvo y líquido, por presión inadecuada o insuficiente material en el molde durante la polimerización (Phillips 2004, Sunint 2013).

**Absorción de agua:** el polimetilmetacrilato absorbe pequeñas cantidades de agua cuando se lo coloca en un medio acuoso. Esto ejerce efectos significativos sobre las propiedades mecánicas y dimensionales de los polímeros.

Esta absorción acuosa estaría dada por el fenómeno de difusión, es decir, las moléculas de agua penetran el PMMA y ocupan posiciones dentro de las cadenas del polímero. En consecuencia las cadenas del polímero se desplazan y se produce expansión en la masa de la resina polimerizada en primera instancia y luego las moléculas de agua interfieren con el entrecruzamiento de las cadenas del polímero actuando como plastificador.

Se ha estimado que por cada 1% de aumento en peso producido por la absorción de agua, la expansión de la resina acrílica es de 0,23% linealmente. Esta expansión es aproximadamente igual a la contracción térmica encontrada como resultado del proceso de polimerización. Por eso estos procesos se compensan uno al otro.

Como se dijo anteriormente las moléculas de agua pueden interferir con la maraña de las cadenas de polímeros y pueden cambiar las características físicas, como cambio de forma o inestabilidad dimensional (Macci 2007) y también disminuir las propiedades mecánicas de los polímeros resultantes (Phillips 2004, Gil Villagra 2000) y de dureza

(Nunes de Mello 2003, Azevedo 2005). Esto permite la relajación de la tensión ocurrida durante la polimerización.

Estos cambios son relativamente menores y no tienen efectos apreciables en el ajuste o función de las bases y son reversibles, si la resina es privada de un medio húmedo acuoso.

Desde el punto de vista clínico, la absorción acuosa puede considerarse un factor positivo para la confección de prótesis removibles parciales o totales, al compensar la contracción por la polimerización. Si antes de su instalación en boca, al aparato lo dejamos sumergido unos tres días en agua antes, mejora considerablemente la adaptación y retención de las prótesis a la mucosa del paciente. (Gotusso 1991, Pereyra Camacho 2014).

Phillips afirma que el coeficiente de difusión de una resina es bajo, por ende el tiempo requerido para alcanzar la saturación en una prótesis puede ser considerable, dependiendo tanto del espesor de la resina como de las condiciones de almacenado. Una base típica puede requerir un período de 17 días para quedar totalmente saturada de agua.

**Solubilidad:** aunque las resinas son solubles en una variedad de solventes y pueden perderse pequeñas cantidades de monómero, estos son virtualmente insolubles en los fluidos de la cavidad bucal.

Como se explicó antes, el polimerizado de las resinas genera una cantidad de monómero residual y libre no curado de entre el 3 al 5% en la masa de la resina de curado químico, contra un 0,2 a 0,5% que presentan las de termocurado (Rahal 2003, Machado 2004, Phillips 2004). El límite establecido por la ADA es de 0,04mg /cm<sup>2</sup> y de 2,2% como máximo establece la norma ISO 1567:1997 (Bafile 1991, Gil Villagra 2000). También en este aspecto se encuentran otras sustancias solubles asociadas al monómero como iniciadores, plastificantes (peróxido de benzoilo, hidroquinonas, pigmentos) no incorporadas a la mezcla durante la preparación. Estas sustancias libres pueden ocasionar reacciones alérgicas y tóxicas en pacientes sensibles a estos componentes durante el uso de las prótesis. (Nagem Fillo 1973, Sheridan 1997, Sadamori 1992, Machado 2004, Solórzana Lemus 2012, Pereyra Camacho 2014).

El monómero residual disminuye a medida que pasa el tiempo en un período que puede llevar entre 4 a 5 años o más. (Sadamori 1992). Está comprobado que el almacenamiento en agua reduce el monómero residual (Gotusso 1969, Lamb 1982,

Sadamori 1992, Nunes de Mello 2003). Si el contenido de monómero se mide después de conservar la prótesis en agua durante 17 horas o más, se elimina principalmente el que se halla libre en la superficie de la prótesis (Solárzana Lemus 2012).

**Resistencia:** Estas propiedades hacen referencia a la resistencia a la flexión, y tiene su máxima importancia en que el portador de una prótesis removible transmite a la base de la misma durante la masticación, una tensión similar.

Se ha dicho que la resistencia a la deformación del material de base, es un factor importante en la distribución adecuada del esfuerzo masticatorio sobre la estructura de soporte (Gotusso 1969). La carga así aplicada, indudablemente producirá una deformación. Luego si seguimos incrementando dicha carga, llegará un momento en que la tensión supera a la resistencia y la muestra se fractura.

La resistencia de una resina para base de prótesis depende de muchos factores que incluyen decididamente, como la composición de la resina, procesado y condiciones del medio bucal.

Para proporcionar propiedades físicas aceptables, las resinas deben cumplir con las Especificaciones n° 12 de la ADA y/o las de la norma ISO 1567.

La prueba de flexión transversal se usa para evaluar las relaciones entre la carga aplicada y la deflexión resultante en una muestra de resina de dimensiones preestablecidas.

El determinante de mayor importancia de la resistencia total de la resina es el grado de polimerización que muestra el material, es decir a mayor grado de polimerizado, mayor resistencia. De allí que el ciclo de polimerización empleado con una resina termocurada es extremadamente importante (Phillips 2004).

**Dureza:** En odontología, la propiedad de dureza se refiere a la resistencia superficial del material de estudio que puede ser afectado en el caso de aparatos de prótesis removibles, por la acción mecánica y química de agentes limpiadores, produciendo desgastes, rayas y rugosidades en su superficie afectando de este modo su aspecto visual, pulido o acabado final, permitiendo acúmulo de placa bacteriana y tinciones superficiales del acrílico (Bollen 1997, Rahal 2004, Lira 2014).

Los ensayos que se realizan para estudiar la dureza son variados pero no están contemplados tanto en las Especificaciones número 12 de la ADA como en las normas ISO 1567 para este material, pero sí para otros tipos de materiales de uso odontológico.

## Termocurado en horno microondas

El uso de la energía del horno de microondas para el termocurado de las resinas acrílicas fue reportado por primera vez en 1968 por Nishii quien publicó el primer estudio sobre esta técnica que acortaba considerablemente los tiempos del curado del polimetacrilato de metilo.

Teniendo en cuenta la imposibilidad de utilizar muflas metálicas dentro del microondas, Kimura y cols. (1983 -1984) desarrollaron la técnica del procesado del acrílico con energía de microondas utilizando una mufla plástica reforzada con fibra de vidrio lo que redujo el tiempo de curado.

Hasta entonces se utilizaban resinas acrílicas de termocurado convencional, es decir para curado o endurecimiento en baño de agua caliente, pero en años posteriores se formularon resinas específicas para microondas.

Estas resinas se diferencian de las clásicas por el agregado de ciertas sustancias al monómero, estas lograrían dispersar mejor la temperatura y minimizar las posibilidades de aparición de porosidad en la masa ya endurecida (Bafile 1991).

Bafile y cols. (1991) advierten que la fórmula del monómero específico para esta resina no es revelado por los laboratorios (lo cual fue constatado por quien suscribe este trabajo de tesis, ante el requerimiento al laboratorio que fabricó la marca de resinas que se utilizaron en los estudios que más adelante se describen). Bafile supone que podría ser trietilenglicol ó tetraetilenglicol que son dimetacrilatos que evitarían la ebullición del monómero y por consiguiente evitar el peligro de aparición de poros en la masa de la resina ya polimerizada, lo cual acarrea problemas como pigmentaciones, acumulación de placa bacteriana, posibilidad de formación de cálculos, cambios dimensionales y disminución de las propiedades físicas.

Como se mencionó anteriormente, la mayor ventaja de estos acrílicos es la rapidez del polimerizado que a lo sumo puede insumir 10 minutos.

La energía electromagnética que produce el microondas llega a los 2450 MHz y su dirección cambia 5 mil millones de veces por segundo. Esto genera que las moléculas de cualquier líquido como el monómero sean estimuladas y choquen violentamente generando rápidamente calor ante la fricción molecular (De Clerk 1987). De este modo la elevación de la temperatura se produce en forma intrínseca en el material, independientemente de la conductibilidad térmica de los componentes que revistan a la

resina empaquetada. De esta forma se diferencia de la técnica clásica con baño de agua caliente en donde el calor influye en forma externa a la superficie de la mufla y debe atravesar el espesor del metal de ésta y el grosor del yeso que rodea a la masa acrílica.

Investigaciones realizadas por varios autores (De Clerck 1987, Reitz 1985, Memon 2001, Bindo 2009, Jabhabv 2013) indican que las propiedades físicas de las resinas curadas mediante microondas son similares a las que muestran las resinas termo convencionales. Otros como Banerjee (2010) indican que las propiedades físicas de flexión resultan mejores que las de otras resinas termocuradas.

Otros trabajos publicados, como los de Kimura y cols. (1984), reportaron mejor adaptación del acrílico convencional cuando es curado en microondas. Ilbay (1994) encontró que las resinas curadas en microondas presentan mejor resistencia mecánica y similares valores en lo que respecta a dureza superficial.

Sanders y Levin (1991) compararon la adaptación basal de los acrílicos formulados especialmente para ser curados con energía de microondas y acrílicos de polimerización convencional en agua, no encontrando diferencias significativas entre ambos métodos.

Autores como Bafile(1991) ,Yannikakis (2002 ) Sunint ( 2013), estudiaron la porosidad de la resina de curado en microondas, concluyendo que las mismas presentan algo más de porosidad, casi sin diferencias, en comparación con las termocurado clásicas, no así cuando se polimerizó en microondas resina clásica de curado en agua presentando esta sí una significativa mayor porosidad en la masa del acrílico. (Sanders 1991, Bafile 1991, Yaninikakis 2002, Sunint 2013). También Kasina y cols. (2014) encontraron variaciones en la porosidad dependiendo de la marca de resina que se utilice.

Con respecto a la dureza o microdureza superficial, existen trabajos que la destacan como Gil Villagra (2001) y marca un orden decreciente de esta propiedad en las resinas curadas en microondas, curadas en agua, fotopolimerizables, inyectadas y de autocurado en base a ensayos de dureza Rockwell. Afirma el autor que estas mejoras se deben tal vez a la menor concentración de monómero residual que tienen estas resinas. Tuna y cols. (2013) corrobora también que estas resinas presentan menores valores de monómero residual comparados con otros acrílicos. Fariña y cols. (2012) demostraron similitud de dureza con las termocurables en agua mediante ensayos Vickers.

Entre las desventajas de la técnica de termocurado con energía de microondas está es el precio más elevado de la mufla especial de pvc en relación a la mufla tradicional metálica, y principalmente su fragilidad dado que tiende a fracturar después de sucesivos procesos de prensado. La fractura de esta mufla ocurre por exceso de presión

en las prensas hidráulicas en el momento del empaquetado y prensado de la resina que en lo posible no debe superar los 1000 kg de fuerza.

Sheridan y cols. (1997) determinaron en un estudio, que el acrílico de microondas resultó significativamente más citotóxico en comparación con el acrílico de termocurado en agua pero menos que la resina de curado químico. Por esta razón recomiendan almacenar las prótesis en agua 96 hs como mínimo para disminuir los efectos tóxicos de las mismas, independientemente del tipo de resina utilizada. Esta citotoxicidad más marcada en el acrílico de termocurado en microondas estaría dada por los componentes individuales de la resina.

Más allá de algunos posibles inconvenientes, la utilización de resinas de curado con energía de microondas es un método sumamente probado desde hace décadas y los estudios son coincidentes en remarcar que su máxima ventaja radica en la rapidez en el termocurado de la resina, y en producir un acrílico con propiedades físicas muy similares al acrílico clásico de curado por baño de agua caliente.

## MARCO TEÓRICO

En el año 1969 el Dr. Mario J. Gotusso presentó su trabajo de tesis, el cual desarrolló un método de tratamiento superficial de las prótesis con monómero caliente, como reemplazo del pulido mecánico habitual.

Este tratamiento superficial no mecánico tiene importancia en tres aspectos fundamentales:

- 1) Permite que las superficies internas de las prótesis ofrezcan una superficie menos lesiva a los tejidos sobre los cuales se apoya o toma contacto.
- 2) Permite el tratamiento de las superficies externas aún cuando éstas fuesen caracterizadas.
- 3) Permite optimizar los tiempos de terminado de una prótesis.

Referido al primer aspecto, al actuar el monómero caliente en el total de la superficie protética, produce un pulido dándole un aspecto brillante a la misma. Con ello se obtiene también una mejor adaptación del paciente al aparato protético, ya que disminuyen las posibilidades de crear estomatitis traumática.

Con respecto al segundo aspecto, esta técnica permite realzar la estética de las bases en lo referente a reproducción de color, relieve y puntillado de la superficie gingival, el cual se vería afectado si se le realiza un pulido mecánico por desgaste superficial.

El tercer punto no figura en el trabajo de tesis como una de las ventajas más destacadas, pero no debería ignorarse.

En este trabajo, la investigación se realizó sobre resinas termocurables convencionales, es decir, que la energía térmica requerida para polimerizar este material puede proporcionarse usando un baño de agua caliente con una duración de entre 2 a 9 horas.

Los resultados del estudio de Gotusso (1969), mostraron que este método de pulido puede modificar algunas propiedades físicas de las resinas, como las siguientes:

Absorción: hubo una leve disminución, no significativa, de absorción acuosa de las resinas con pulido químico en comparación a las no tratadas.

Deflexión: el tratamiento aumenta los valores de flexión, es decir modifica negativamente en forma significativa los valores de deflexión y de resistencia.

Abrasión: el tratamiento químico facilita un aumento significativo del desgaste. (esta prueba sería equivalente a las pruebas de microdureza de la actualidad).

Distorsión: en la mayoría de las muestras, este procedimiento no produjo distorsión.

Gotusso concluye que las bases no se alteran morfológicamente con el tratamiento, variando ligeramente algunos valores mecánicos siendo necesario una investigación clínica que permita evaluar hasta que punto estas diferencias tienen real significación.

A diferencia de esta técnica de pulido químico, el pulido mecánico que usualmente se realiza para el acabado de las prótesis, consiste en que una vez retirada ésta de la mufla, se realiza una serie de pasos como eliminar yeso de su superficie, desgastar los excesos y rebabas, emprolijar con piedras, fresas y gomas siliconadas la superficie de los bordes y flancos tratando de alterar lo menos posible la superficie sobre todo de la base, que va a estar en contacto con la mucosa de soporte.

Posteriormente se lo lleva a una pulidora mecánica para empezar a pulir con cepillo de rueda compuesto de cerdas de nylon y pasta de piedra pómez con agua.

Acto seguido se le pasa la misma pasta de piedra pómez y agua a través de un cono de fieltro el cual ya empieza a mostrar un cierto brillo opaco el cual se convierte en brillo espejo con la aplicación por último de pasta de pulir fina mediante una rueda de tela.

Si bien con este método mecánico de pulido se logra un acabado superficial muy brillante y suave del acrílico, tiene la desventaja que insume muchos minutos de trabajo de laboratorio y borra caracterizaciones o detalles finos que eventualmente se pudieran realizar en la superficie de la prótesis después de ser encerada, con el fin de lograr más naturalidad en la apariencia del aparato protético.

Actualmente existen otros tipos de resinas acrílicas, como las de termo polimerización por energía de horno de microondas entre otras.

Estas últimas emplean una fórmula especial de resina y una mufla no metálica, como se aclaró en la introducción.

Existen trabajos científicos (Braun 2003, Mello 2003, Machado 2004, Orsi 2004), en donde se realizó este procedimiento de pulido en resinas termocurables en agua pero polimerizadas por irradiación con horno de microondas, en los cuales la mayoría coinciden en que este método es aplicable a este material, sin embargo se ha detectado

que afecta ciertas propiedades físicas del acrílico como la solubilidad o monómero residual, la dureza superficial, la fuerza transversa y la absorción acuosa. Braun y cols. (2003) encontraron que en la mayoría de los trabajos publicados no hay coincidencias con respecto al grado de distorsión de dichas propiedades, sin diferencias significativas entre resinas termopolimerizables clásicas o varían según la marca comercial de acrílico que se trate, como lo demostraron Orsi (2004), o son casi insignificantes si se las deja almacenadas en agua durante varios días (Braun 2003). Estas modificaciones están dentro de los valores permitidos a las resinas acrílicas según especificación N° 12 de la ADA (American Dental Association 1975), es decir no tendrían efecto negativo para su uso clínico en prótesis.

Rahal y cols. (2004) es uno de los pocos investigadores en probar el pulido químico en resinas especialmente formuladas para microondas, y comprobaron que no muestran diferencias significativas en lo que se refiere a solubilidad y absorción acuosa.

Hasta el día de hoy en la bibliografía no habría trabajos que estudien posibles variaciones en lo que respecta a las propiedades físicas de deflexión transversa, resistencia final, y dureza, de las resinas formuladas para microondas luego de realizarles un pulido químico, las cuales serán el objetivo de esta investigación.

Se observa que todos los trabajos mencionados se realizaron con algunas modificaciones a la técnica original de pulido químico propuesta en su oportunidad por el Dr. Mario Gotusso, en donde existen diferencias en las temperaturas del monómero a la que se expone el aparato protético, el tiempo en que queda sumergido y en los tiempos de lavado y secado (Braun 2003, Mello 2003, Machado 2004, Orsi 2004, Rahal 2004).

En virtud de estas modificaciones observadas en este procedimiento y dadas las ventajas que presenta este material, sumado a las de esta técnica sencilla de pulido que nos proporcionarían un ahorro considerable de tiempo, recurso fundamental en la actualidad, es que resulta de interés para la odontología en el área de Prostodoncia, realizar un trabajo de investigación aplicando el pulido químico al acrílico de curado mediante microondas respetando la técnica original y verificar las posibles modificaciones en sus propiedades físicas.

## **OBJETIVO GENERAL**

Analizar el efecto del pulido químico en las propiedades físico-mecánicas y dureza del acrílico curado por diferentes métodos de polimerizado.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Comparar las variaciones en las propiedades físico-mecánicas y dureza en la resina de termocurado en horno de microondas con las de termocurado en agua.
2. Evaluar diferencias entre la técnica de pulido químico clásico y la comercial y su repercusión en las propiedades de flexión y dureza en las resinas acrílicas formuladas para curado en microondas.
3. Comparar los valores obtenidos entre las resinas termopolimerizables en horno de microondas y en agua, sometidas a pulido mecánico y químico.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En este estudio *in vitro*, se evaluó la deflexión transversa, módulo de elasticidad, resistencia, fuerza máxima, tenacidad y dureza de dos tipos de acrílicos termocurables a los cuales se les realizó previamente pulido químico.

Para las pruebas de deflexión, módulo de elasticidad, resistencia a la flexión, fuerza máxima, tenacidad se realizaron patrones de resina de curado convencional en agua (T) y por horno de microondas (M), 10 de cada tipo, que se sometieron a la técnica de pulido químico original y a la técnica comercial o variante del pulido químico (ver sección fabricación de pág.23), ambos usando aparatología específica para reproducir las mismas condiciones necesarias para cada técnica de tratamiento. También se fabricaron 10 patrones de cada tipo de acrílico pero sin ningún tipo de tratamiento con monómero, con solamente un prepulido mecánico a fin de tener un tercer grupo control. Para las pruebas de dureza se fabricaron probetas de resina de curado convencional y por horno de microondas (5 de cada tipo) que se los sometieron a la técnica de pulido químico original y a la técnica comercial o variante del pulido químico, ambos usando aparatología específica para reproducir las mismas condiciones necesarias para la técnica de tratamiento. También se fabricaron 5 patrones de cada tipo de acrílico pero también como en las probetas para deflexión, sin ningún tipo de tratamiento con monómero, con solamente un prepulido mecánico (grupo control).

### Fabricación de patrones rectangulares

Para medir la deflexión transversa, módulo de elasticidad, resistencia, fuerza máxima y tenacidad, se fabricaron 60 patrones rectangulares de resina de  $65 \times 10 \times 2.5 \text{ mm}^3 \pm 0,03 \text{ mm}$  según especificación American Dental Association (1975). Las probetas rectangulares, se fabricaron inicialmente en silicona pesada de adición en un número de 4 de modo de ser reutilizadas realizando una plancha de un espesor uniforme de 2,5 mm para luego ser marcadas con microfibras indelebles y seccionadas con hoja de bisturí en rectángulos de  $65 \times 10 \text{ mm}^2$ . Acto seguido se incluyeron con yeso extraduro tipo IV (fig. 4) en muflas metálicas y plásticas de acuerdo al tipo de acrílico, convencional y curado

por microondas respectivamente( fig. 2 y 4); las mismas luego de fraguado el yeso se removieron con un explorador curvo de modo que ofrecieron una cavidad que fue impregnada con separador de yeso y una vez seco este, fue rellenada de resina, empaquetada, prensada y procesada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante ,bajo normas y técnicas uniformes de laboratorio.



Fig.1.- Resinas de termocurado en agua y microondas.

Se procesaron resinas de termocurado en agua, el polvo o polímero cristal (New Poll cross linked, Vipi, Brasil) con su monómero correspondiente (New Poll cross linked, Vipi, Brasil) y resina formulada para termocurado en horno de microondas con polímero cristal (Micro Poll Wave cross linked Vipi, Brasil) y su monómero correspondiente (New Poll Wave cross linked, Vipi, Brasil,fig. 1).

Una vez cerradas las muflas, se esperó 30 minutos antes de proceder a la termopolimerización.



Fig. 2 y 3. - Mufla plástica y de bronce respectivamente.

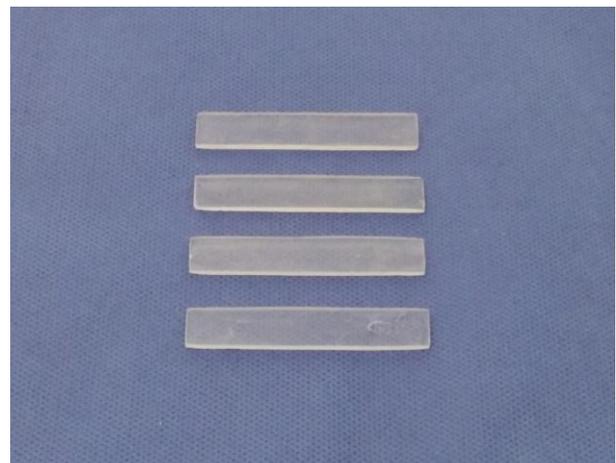


Fig.4.- Mufla con patrones de silicona en yeso.

Fig.5.- Patrones desenmoldados y recortados

### Fabricación de patrones circulares

Las probetas para las pruebas de dureza, se fabricaron inicialmente en silicona pesada de adición en un número de 5 realizando una plancha de un espesor uniforme de 5 mm para luego ser marcadas con microfibras indelebles con la ayuda de un molde plástico circular plano y seccionado con hoja de bisturí en círculos de 30 mm de diámetro (fig. 6).

Acto seguido se incluyeron con yeso extraduro tipo IV en muflas metálicas y plásticas de acuerdo al tipo de acrílico, convencional y curado por microondas respectivamente; las mismas luego de fraguado el yeso se removieron con un explorador curvo de modo que ofrecieron una cavidad que fue impregnada con separador de yeso y una vez seco este, fue rellena de resina, empaquetada ,prensada y procesada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante ,bajo normas y técnicas uniformes de laboratorio. Una vez cerradas las muflas, se esperó 30 minutos antes de proceder a la termopolimerización.

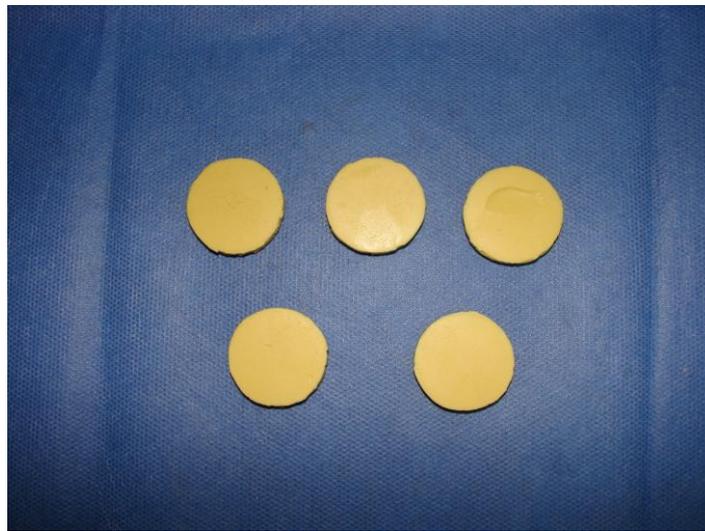


Fig. 6.- Patrones circulares de silicona.



Fig.7.- Mufla plástica con patrones curados.



Fig.8.- Patrones circulares recortados y prepulidos.

### **Técnica de termocurado**

Las muflas metálicas correspondientes al acrílico convencional se sumergieron en un recipiente con agua, la cual fue colocada bajo una fuente calórica de modo de ir gradualmente aumentando la temperatura hasta llegar a 70 / 75 °C manteniéndola así durante 30 minutos. Pasado ese lapso de tiempo se elevó la misma hasta llegar a los 100 °C y se la mantuvo durante una hora y media más hasta apagar la fuente calórica y dejar que enfríe paulatinamente en dicho recipiente según indicaciones del fabricante.

Las muflas plásticas en donde se procesa el acrílico de microondas, fueron colocadas dentro de un horno de microondas de uso culinario de 850 Waths y 2450 MHz frecuencia (Aurora, Argentina) en el cual se programó un tiempo inicial de 3 minutos a un 40% de potencia, luego un reposo de 4 minutos para terminar con una potencia del 90% durante 3 minutos finales, dejando enfriar luego paulatinamente la mufla, según indicaciones del laboratorio fabricante de la resina.

Los patrones ya polimerizados, se retiraron del yeso (desenmuflado fig. .7) para luego ser limpiados con cepillo y agua, se recortaron rebarbas con instrumental rotatorio con discos de papel montados y luego fueron pulidos con lijas y agua en forma gradual con granulometría 400, 800,1000, 1200 y 1500 para eliminar imperfecciones en sus bordes y

superficie de modo que las probetas presenten sus dos caras lisas y suaves (fig. 5 y 8). Esto es importante sobre todo en las probetas que se utilizaron para las pruebas de dureza, dado que la presencia de rayas u ondulaciones impiden muchas veces realizar los test en el microdurómetro.

Por último fueron medidas y seleccionadas mediante un calibre digital de modo que tanto en espesor como en largo y ancho no tuvieran una discrepancia menor o mayor a 0,3 mm, siguiendo las especificaciones que establece la ADA para este tipo de pruebas.

### **Técnica de pulido químico clásico**

La técnica de pulido químico presentada por Gotusso (1969) consiste en que, polimerizada la prótesis y una vez retirada de la mufla, se elimina todo resto de yeso de su superficie. Se desgastan los excesos y rebarbas y se termina de mejorar con piedras, fresas y gomas siliconadas los bordes de la prótesis, tratando de no alterar la superficie caracterizada eventualmente con relieves y puntillados simulando a la gíngiva natural.

Luego se preparan los materiales necesarios para el pulido que constan de un recipiente metálico ó de vidrio templado o borosilicatado tipo Pírex, una fuente de calor eléctrica (calentador a resistencia), espátula perforada de cocina, un reloj, una fuente de aire caliente, y la porción necesaria de monómero (auto o termocurable) como para cubrir la prótesis dentro del recipiente elegido.

Se conecta la fuente calórica, que debe ser eléctrica para evitar la ignición de los gases altamente inflamables del monómero que se desprenden al ser calentado a ebullición, y se coloca el jarro o recipiente con la porción de monómero necesario.

En su trabajo, Gotusso (1969) aconseja colocar un vidrio para tapar la boca del recipiente de modo de permitir la condensación y posterior recuperación del líquido y disminuir la formación de gases.

Se espera unos minutos que hierva el monómero y cuando el mismo llega a su pleno burbujeo se desconecta el calentador. Acto seguido se sumerge la placa con la porción de los dientes hacia abajo y se mueve el recipiente para hacer bañar todas las superficies con el monómero caliente. Agitar el recipiente tiene además como finalidad, evitar que la zona de la prótesis en contacto con el piso se pegue al mismo y asimismo igualar la temperatura del baño.

Los resultados del estudio de Gotusso (1969) mostraron que la sola introducción de la prótesis en el monómero hirviendo (100,8°C) luego de apagar la fuente calórica, la

temperatura menor de la masa de resina de la dentadura la hace descender alrededor de los 75 °C, que es la temperatura ideal para el pulido.

Se espera un minuto y se retira la prótesis del interior del recipiente levantándola mediante la espátula tratando de no tocarla con los dedos, ya que con el reblandecimiento superficial del acrílico que se genera, quedarían impresas las huellas dactilares.

Inmediatamente se lo deposita en una superficie lisa y limpia (puede ser un vidrio o espejo) y se comienza a secar la superficie con aire caliente (secador de pelo) durante 5 minutos y luego otros 10 minutos con aire frío.

Posteriormente se coloca la prótesis en una taza de goma bajo agua corriente para barrer el monómero residual de la superficie. Es recomendable en lo posible dejar la placa 24 hs para la mayor eliminación del mismo.

Se obtiene así una prótesis que presentará todas sus superficies internas y externas brillantes, con una textura similar al glaseado, sin desdibujar las caracterizaciones de los flancos que pretenden asemejarse lo más posible a la encía natural.



Fig.9.- Calentador de cera para realizar pulido químico.

En base a metodología, a un grupo de patrones de cada resina se les realizó la técnica clásica de pulido químico. Para ello se procedió a utilizar un calentador de cera

eléctrico de uso doméstico con regulador de temperatura (Ceratermic modelo Junior, Argentina) con capacidad de 450 cc, (fig.9) en el cual se reguló el termostato del calentador a temperatura de ebullición el monómero correspondiente, (100,08° C). Luego de esperar aproximadamente 2 minutos hasta ver el burbujeo del líquido, se apagó la fuente calórica, se introducen de a 3 probetas por vez dentro de un recipiente metálico perforado con manija dentro de la cuba del calentador (fig.10 y 11) que contiene el monómero caliente, logrando de esta forma que la menor temperatura de la masa de plástico de las muestras, al sumergirlas consigue descender alrededor de los 70 °C, que es la temperatura ideal para nuestro objetivo, respetando de este modo la técnica original de pulido químico( Gotusso 1969).

El monómero utilizado para las dos técnicas de pulido químico fue el correspondiente a cada resina.

El procedimiento se ejecutará en un ambiente con abundante ventilación dado a la gran volatilidad del monómero.

Por razones de seguridad, es aconsejable evitar calentar el monómero en calentador eléctrico como se realizaba en los primeros trabajos realizados a partir del año 1969, sino en un calentador de cera que es mucho más seguro. De lo contrario, es factible posibles accidentes de incendio debido al goteo de monómero en la resistencia eléctrica por sudoración a través de la superficie externa del recipiente, si este está tapado en su boca. La posibilidad de ignición del recipiente es factible, y en este trabajo ocurrió en una de las primeras experiencias que se realizaron.



Fig.10.- Patrones circulares y calentador de cera.



Fig.11.- Patrones circulares presentados en cuba perforada.

Se esperó un minuto y retiró el recipiente perforado con los patrones, se escurrió unos segundos, se lo tomó cuidadosamente cada patrón con una pinza para algodón y se los colocó sobre una loseta de vidrio, para comenzar inmediatamente a secar la superficie con aire caliente proveniente de un secador de pelo durante 5 minutos y luego con aire frío durante 10 minutos.

El siguiente paso fue colocar las muestras de resina en una taza de goma y dejar correr agua durante 5 minutos para barrer el monómero depositado en la superficie.

Por último se las colocaron en agua destilada un mínimo de 48hs a 50 hs previo a realizar ensayo a una temperatura de 37 °C, condición establecida por la ADA.

### **Técnica de pulido químico modificado**

En base a los trabajos realizados por distintos autores (Braun 2003, Mello 2003, Machado 2004, Orsi 2004, Rahal 2004, Milanesi 2006), se realizó la variante del pulido químico en las muestras de acrílico termocurable convencional y de curado por microondas.

Para ello se procedió a utilizar el mismo calentador de cera eléctrico de uso doméstico con regulador de temperatura ( Ceratermic modelo Junior, Argentina) en el cual se reprodujo las mismas condiciones de la variante comercial, es decir llevar la

temperatura del monómero de 70 °C a 80 °C, introducir el patrón de resina 10 segundos, retirar y lavar con agua corriente durante 15 segundos para luego ser almacenadas en agua destilada a 37 °C un mínimo de 48hs a 50 hs previo a realizar los ensayos .

A continuación se resumen los acrílicos y pulidos a estudiar:

Material	Pulido	Flexión n	Dureza n
Acrílico Termo convencional (T)	Grupo Control	10	5
	Pul. Q. Clásico	10	5
	Pul. Q. Modificado	10	5
Resina de Microondas (M)	Grupo Control	10	5
	Pul. Q. Clásico	10	5
	Pul. Q. Modificado	10	5

### **Resistencia a la flexión, módulo elástico, fuerza máxima, tenacidad y deflexión transversa**

En estas pruebas se midieron la deflexión, fuerza transversa, resistencia a la flexión, módulos de elasticidad y tenacidad, usando una máquina universal de ensayo (Digimes mod. RS 8000-s, China) ubicada en el Área de Biología Oral (ABO) de la Facultad de Odontología de la UNC, con capacidad de carga de hasta 500 kg y en donde se ajustó la velocidad de aplicación de carga a 5 mm por minuto (fig.12).



Fig.12.- Máquina de ensayo.

Esta máquina tiene en su base una plataforma fija en la que se coloca un caballete de carga y también posee una plataforma móvil a la que se fija la punta aplicadora que será la que ejerza la fuerza sobre la probeta de ensayo y produzca un determinado desplazamiento y deformación de la misma hacia abajo.

Para poder utilizar esta máquina de ensayo debimos mandar a confeccionar un caballete para montar las probetas y a su vez también una punta roma con la cual la máquina de ensayo aplica la fuerza (fig 14 y 15).

Estos elementos deben ser confeccionados siguiendo las especificaciones y características dadas por la ADA (1975).

El caballete de prueba fue fabricado en acero (Fig.14) y constituido por una base de 20mm de ancho y 50mm de largo, con dos apoyos cilíndricos pulidos de 3,2mm de

diámetro. Dichos cilindros van montados horizontalmente sobre placas paralelas entre sí y perpendiculares a la base. El sistema, mostrado en la figura 12, mide 10mm de alto y 10mm de ancho en su porción final. La distancia entre los centros de los soportes es de 50 mm  $\pm$  1mm.(fig.13).

El pistón de carga también se fabricó en acero (fig.15), y consiste en un vástago de sección rectangular de 70 mm de largo y 7 mm de ancho, cuya punta lleva un acabado cilíndrico y pulido de 3,2 mm de diámetro y un ancho de 10mm.

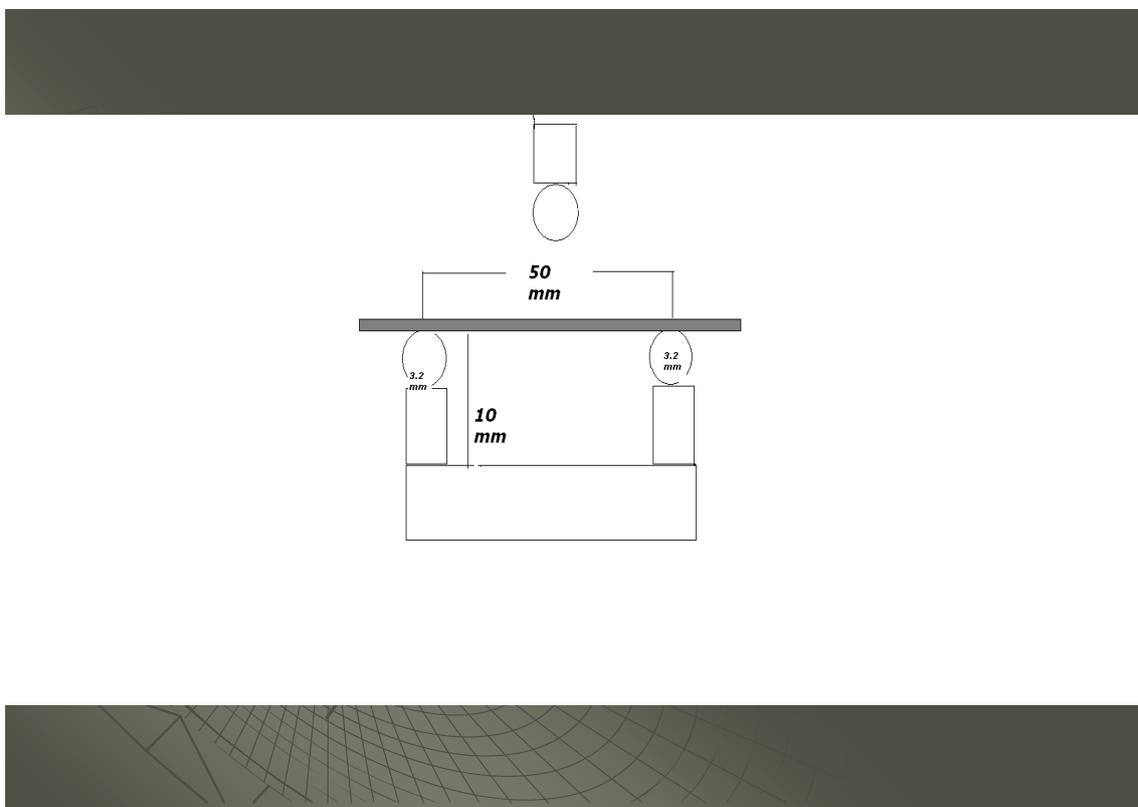


Fig.13.- Esquema del dispositivo.

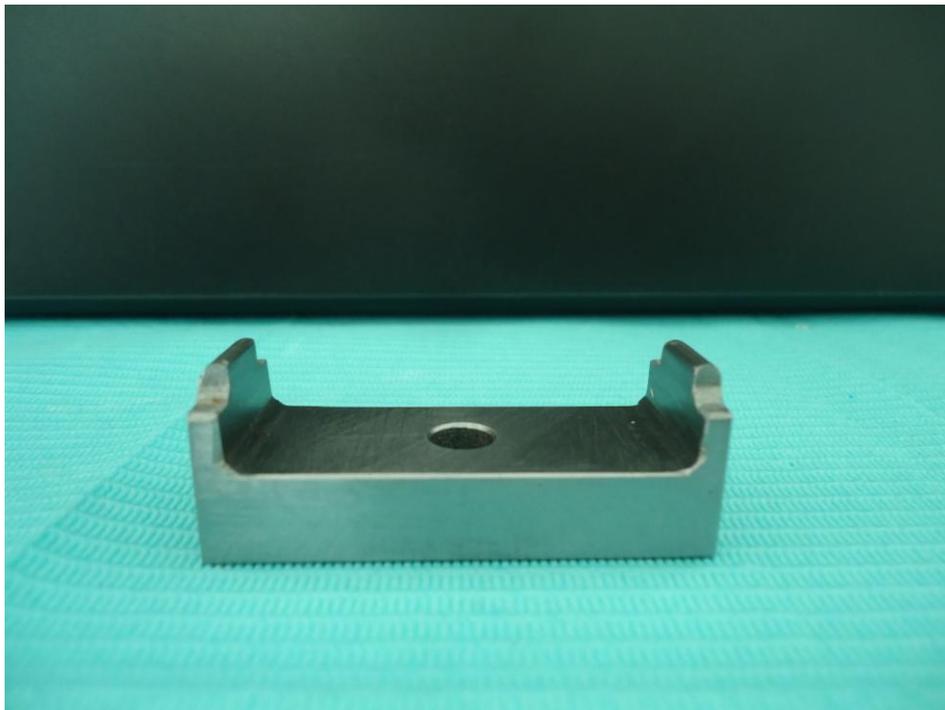


Fig.14 y 15.- Punta aplicadora y base para probetas fabricadas en acero. La perforación ayuda a centralizarla en base de máquina de ensayo.

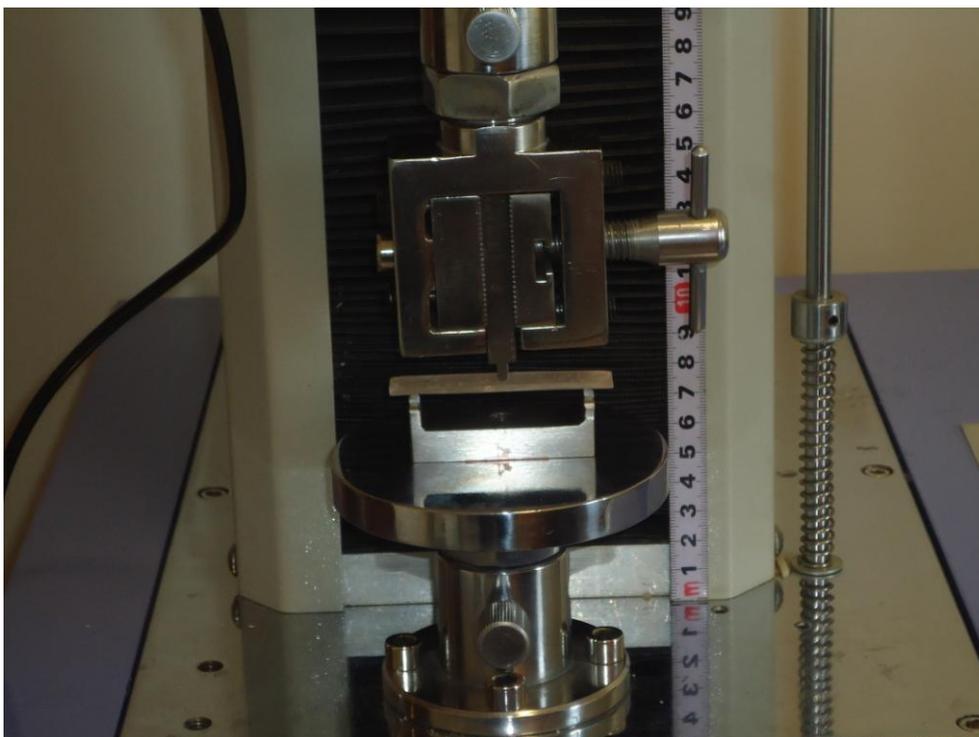


Fig.16.- Máquina de ensayo y probeta montada para ajustes

Las pruebas fueron realizadas después de realizar el pulido químico y previo a estar las probetas almacenadas en agua destilada 48 hs a 37 °C, condición establecida por la ADA, dado que la resistencia y la rigidez se reducen después de la absorción de agua (Gil Villagra 2000, Rahal 2004, Bindo 2007).

Las probetas se las retiraron una a la vez del recipiente con agua destilada acondicionada y se montaron en el caballete de modo que el conjunto se alojó en un recipiente plástico transparente para su mejor visualización durante la prueba, y se lo llenó también con agua destilada a 37 °C (fig.18) siguiendo las especificaciones de la ADA. Para facilitarnos el centrado del caballete en la plataforma fija de la máquina de ensayo, se hizo coincidir visualmente el centro de dicha plataforma con una perforación que se encuentra en el centro de la base transversal del caballete (fig.14).

Luego se colocó cada probeta con tres puntos de fijación, uno en cada extremo y el tercero en el centro del patrón en donde se aplicó la carga a una velocidad de 5 mm/minuto hasta la fractura total. Los valores se registraron en kg.f y convertidos en N (1N =9,81 kg.)

A medida que transcurre la prueba, se ve en la pantalla de una computadora conectada a la máquina que realiza los test, la representación gráfica de la resistencia a la flexión

con las curvas tensión-deformación, en las que se registra gráficamente la fuerza y la deformación producidas, llevándolas a un eje de coordenadas. En la figura 17 se muestra una curva típica del ensayo de flexión.

Se registraron todos los resultados de las pruebas realizadas para luego realizar el análisis estadístico de los mismos.

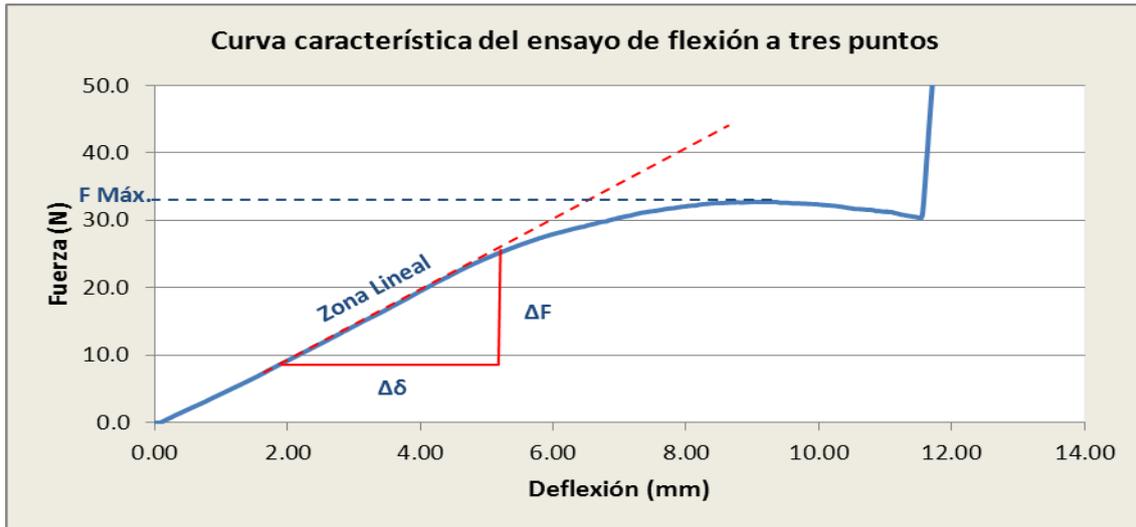


Fig.17.- Representación gráfica de la prueba en la computadora.



Fig.18- Ensayo con probeta montada bajo agua destilada a 37 grados C.

### Módulo de elasticidad

El módulo de Elasticidad se calculó a partir de las dimensiones de la probeta y de los segmentos  $\Delta F$  (fuerza) y  $\Delta \delta$  (deflexión), dentro del rango proporcional o lineal, según la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\Delta F \cdot l^3}{4 \Delta \delta \cdot d \cdot b^2}$$

Siendo:  $l$ : longitud entre apoyos,  $d$ : ancho de la probeta y  $b$ : espesor de la probeta.

### Resistencia Flexural o a la flexión

Se analizó la resistencia flexural ( $\sigma$ ) porque este parámetro contempla las variaciones de espesor registrados de las muestras, que a su vez influye en los valores de fuerza registrados, y lo hace de manera exponencial o cuadrática. El cálculo de resistencia incluye en su fórmula la fuerza de fractura o la carga máxima aplicada en aquellos casos en los cuales no fracturó la probeta y las dimensiones de la misma:

$$\sigma = \frac{3 F \cdot l}{2 d \cdot b^2}$$

Siendo:  $l$ : longitud entre apoyos,  $d$ : ancho de la probeta y  $b$ : espesor de la probeta.

### Fuerza máxima

Aunque el análisis de resistencia ya desarrollado, podría considerarse suficiente para el presente estudio, se analizó complementariamente la variable fuerza, por considerarla útil desde un punto de vista práctico, siempre que las dimensiones de la probeta (65x10x2,5mm) guarden relación con las dimensiones de modelos reales, pero se advierte que los resultados obtenidos al analizar la resistencia son los que deben considerarse para contrastar los grupos y subgrupos, por lo cual sólo se realizará un análisis descriptivo en esta sección.

Se consideró el valor de fuerza máxima, y no el de ruptura o resistencia a la flexión, porque en muchos de los ensayos, no se produjo la falla, tal como se observa en la

figura 12, en donde el incremento de fuerza experimentado al final de la curva se debió al contacto de la probeta con la base del dispositivo. Cabe aclarar que en los casos en los que sí se produjo la falla, ésta ocurrió en una zona prácticamente horizontal de la curva, en la cual la fuerza tendía a estabilizarse en un valor determinado o incluso descender aún más, probablemente debido al estrechamiento de la sección de la probeta a causa de la carga aplicada. Aunque se podría construir una curva teórica, que tenga en cuenta esta deformación, y calcular un valor estimado de fuerza máxima para una curva de ingeniería, dicho análisis no se justifica para el presente estudio.

### **Tenacidad**

La tenacidad es una medida de la capacidad de absorción de energía. Es la propiedad mecánica que posee el material para absorber energía antes de fracturarse. Se calculó considerando el área bajo la curva de carga-deflexión, desde el comienzo del ensayo hasta el punto de fractura.

Para el cálculo de tenacidad se aplicó la siguiente fórmula:  $T = \int_0^{x_{max}} f(F)dx$  que por motivos de practicidad se optó por:  $T = \sum_0^{max} F_i \Delta x_i$  siendo:  $F_i$ : fuerza aplicada en cada intervalo del ensayo y  $\Delta x_i$  los intervalos de desplazamiento o deflexión correspondientes.

### **Deflexión**

En análisis estructural, la deflexión hace referencia al grado en el que un elemento estructural se deforma bajo la aplicación de una fuerza.

En el presente estudio se tomarán los valores de desplazamiento como deflexión a fuerza máxima, expresada en mm.

Debido a que varias de las probetas no se rompieron, se tomó el máximo valor de deflexión registrado al momento de la detención del ensayo, pero se deja de manifiesto, que la máxima deflexión sobrepasaría el valor asumido en estos casos.

### **Dureza**

Como ya se mencionó, esta propiedad no está contemplada como requisito para las resinas acrílicas tanto para las Especificaciones n° 12 de la ADA como para las normas ISO 1567 del año 1997. Sin embargo se consideró importante realizarla ya que la dureza superficial de las prótesis y/ dispositivos intraorales podrían afectarse con el pulido químico, sobre todo con la acción de elementos abrasivos como cepillos dentales combinados con pastas dentífricas, fricción con alimentos duros, pigmentos, etc.

La medición de dureza superficial fue realizada en un total de 30 patrones, la mitad correspondiente a cada tipo de acrílico, utilizando un microdurómetro digital Vickers (Leco AT modelo LM247) como muestra la figura 19, que se encuentra en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) Regional Córdoba.



Fig.19.-Microdurómetro Vickers

En los ensayos se aplicó una carga de 25 gf en un tiempo de 15 segundos con cinco indentaciones aleatorias por probeta (fig.20).

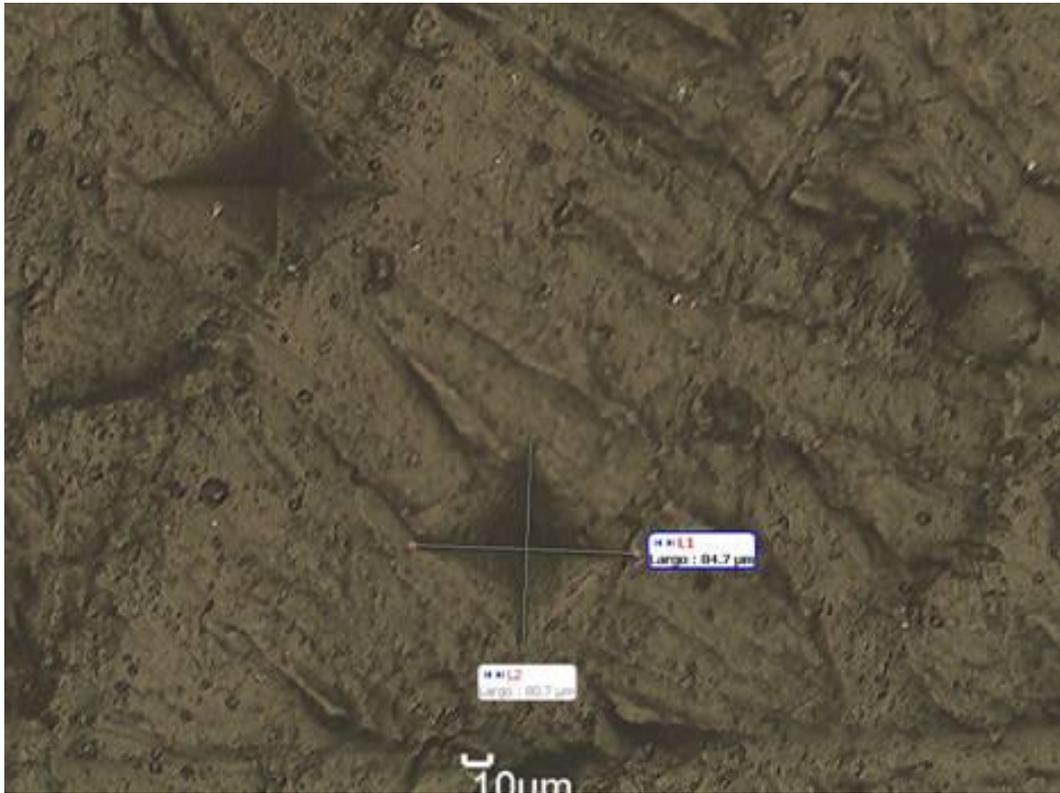


Fig.20.- Vista a 200x de impronta en probeta de resina generada por el microdurómetro

Las pruebas fueron realizadas después de realizar el pulido químico, previo a estar las probetas almacenadas en agua destilada 48 hs a 37 °C , dado que la dureza, como otras propiedades mecánicas, podría reducirse después de la absorción de agua.( Gil Villagra 2000 , Rahal 2004 ,Azevedo 2005, Bindo 2009).

### **Análisis estadístico**

Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el análisis de varianza (ANOVA) de dos vías y *post-hoc* DHS de Turkey para el material y tipo de pulido además de comparaciones con test de Pearson.

Se utilizó un programa SPSS versión 20.0.

Para todas las pruebas se fijó un nivel de significancia estadística  $\leq \alpha = 0,05$ .

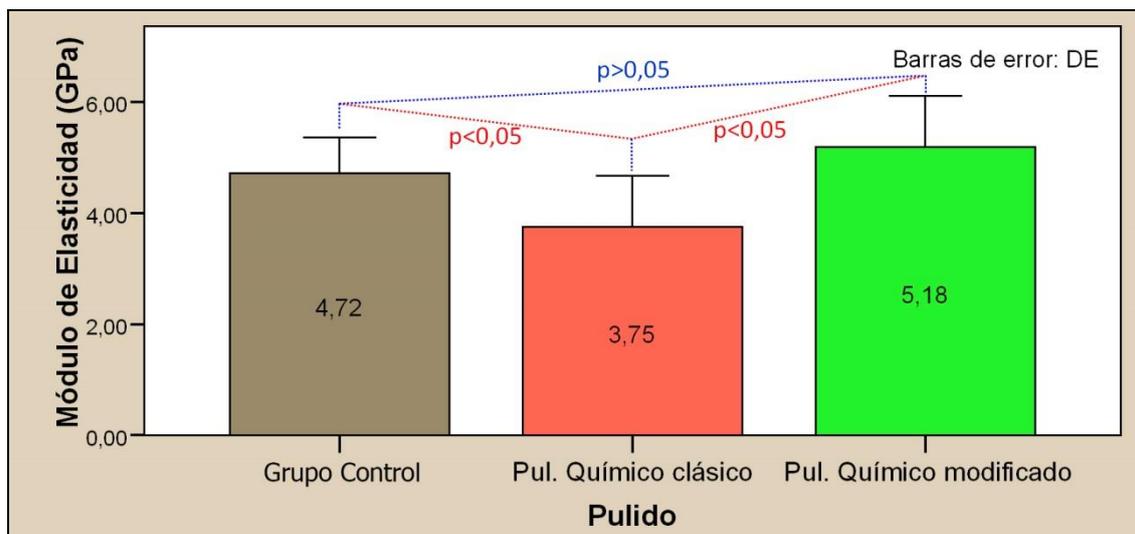
## RESULTADOS

### MÓDULO DE ELASTICIDAD

#### Módulo de elasticidad según tipo de pulido

Pulido	n	Media (GPa)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Grupo Control	20	<b>4,72</b>	0,64	3,30	6,02	2,72
Pul. Químico Clásico	20	<b>3,75</b>	0,92	2,50	5,69	3,19
Pul. Químico Modificado	20	<b>5,18</b>	0,92	3,21	6,92	3,71

**Tabla 1.-** Valores estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad según tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



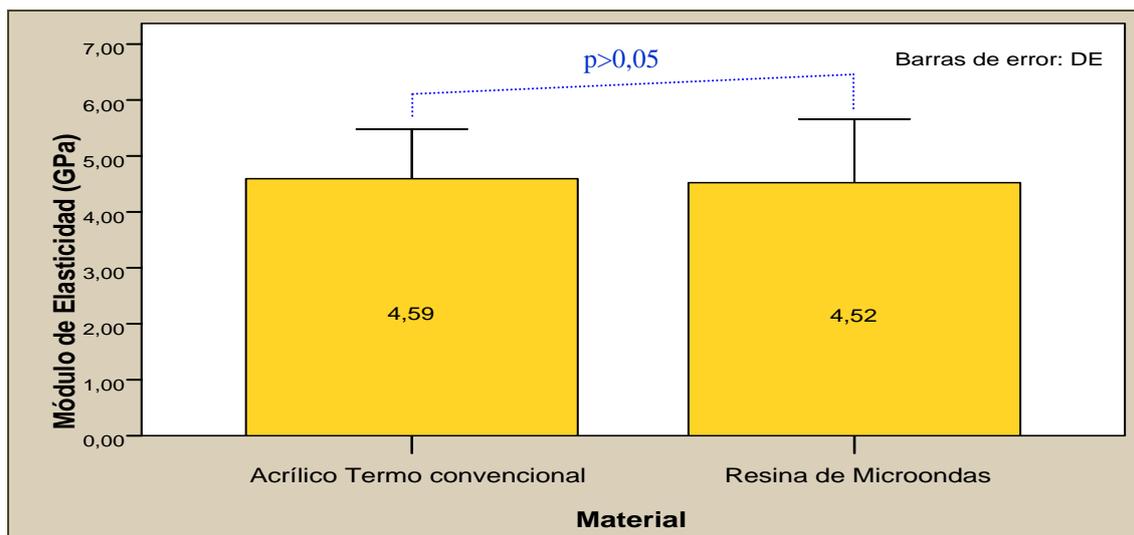
**Fig. 1.-** Módulo de elasticidad según tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

Independientemente del material utilizado, el tipo de pulido demostró ser un factor que influye sobre el módulo de elasticidad del material. El pulido químico modificado registró una media de 5.18GPa, en contraste con el pulido químico clásico, que registró una media de 3.75GPa.

#### Módulo de elasticidad según material

Pulido	n	Media (GPa)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional	30	<b>4,59</b>	0,88	2,67	5,81	3,14
Resina de Microondas	30	<b>4,52</b>	1,14	2,50	6,92	4,42

**Tabla 2.-** Valores estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad según material: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



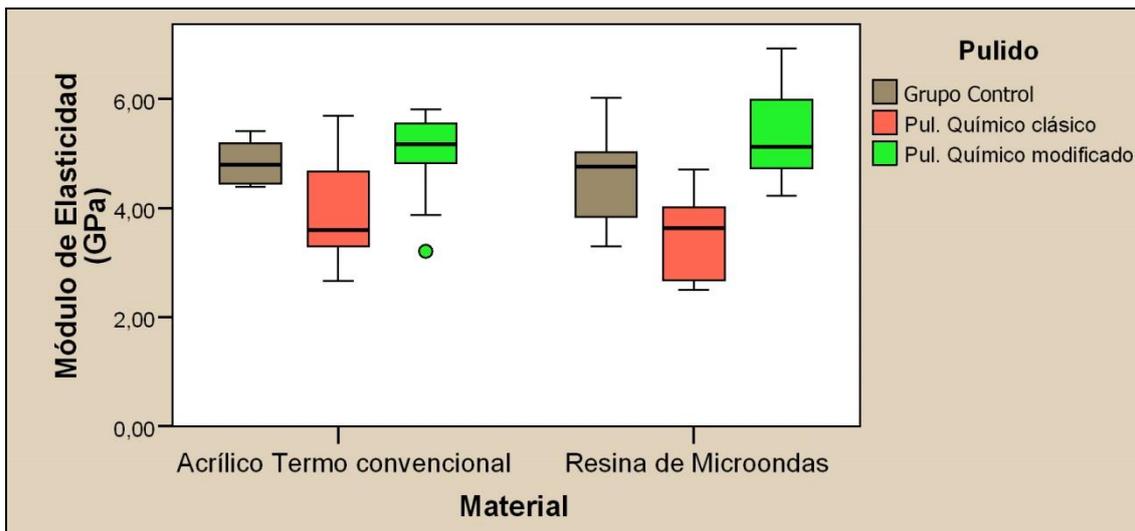
**Fig. 2.-** Módulo de elasticidad según material. Media y desviación estándar (DE).

La diferencia entre medias de módulo de elasticidad de ambos materiales, fue exigua cuando no se diferenció según la técnica o tipo de pulido.

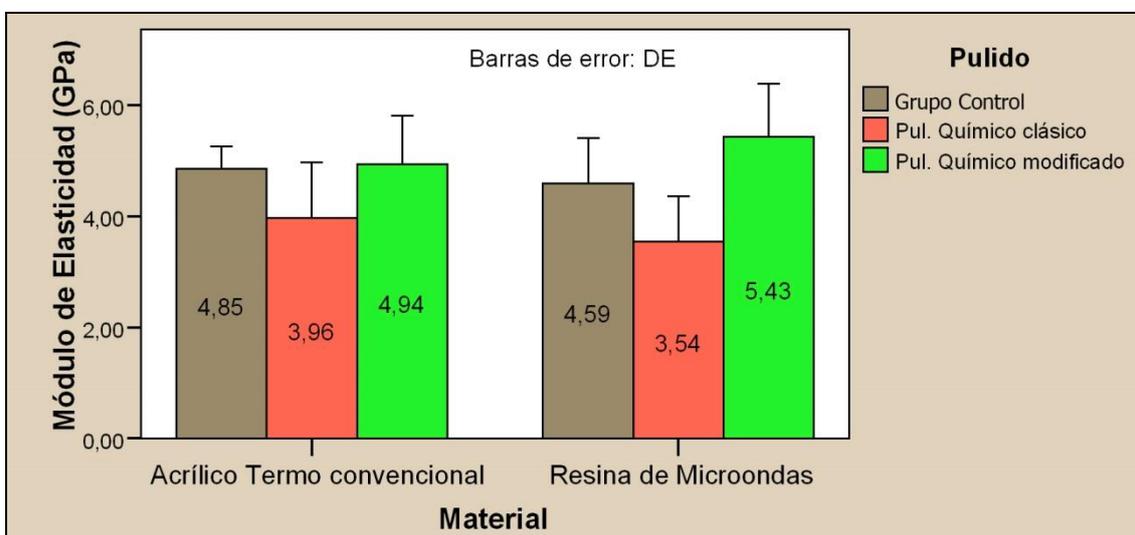
### Módulo de elasticidad según material y tipo de pulido

Material	Pulido	n	Media (GPa)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional (T)	Grupo Control.	10	<b>4,85</b>	0,40	4,39	5,41	1,02
	Pul. Q. Clásico	10	<b>3,96</b>	1,01	2,67	5,69	3,02
	Pul. Q. Modificado	10	<b>4,94</b>	0,87	3,21	5,81	2,60
Resina de Microondas (M)	Grupo Control	10	<b>4,59</b>	0,81	3,30	6,02	2,72
	Pul. Q. Clásico	10	<b>3,54</b>	0,82	2,50	4,70	2,20
	Pul. Q. Modificado	10	<b>5,43</b>	0,96	4,22	6,92	2,70

**Tabla 3.-** Valores estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad según material y tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



**Fig. 3.-** Diagrama de cajas. Módulo de elasticidad según material y tipo de pulido.



**Fig. 4.-** Módulo de elasticidad según material y tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

Los valores medios más elevados de módulo de elasticidad se registraron al utilizar el pulido químico modificado, en tanto que las medias de módulo de elasticidad correspondientes a los subgrupos con pulido químico clásico, fueron las más bajas. Los subgrupos del grupo control, registraron valores intermedios pero más cercanos a los de pulido químico modificado. (Fig. 3 y 4). El subgrupo resina de microondas con pulido químico, registró la media de módulo de elasticidad más elevada de todos los subgrupos evaluados (5,43GPa)

### Pruebas de los efectos entre factores. (ANOVA)

Variable dependiente: Módulo de Elasticidad

Factor	Sig. estadística (p-valor)
Material	0,770
Pulido	0,001
Material * Pulido	0,219

**Tabla 4.-** Valores de significatividad estadística según factores e interacción (ANOVA de dos vías).

Las diferencias de módulo de elasticidad entre los materiales analizados, no resultaron estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). El tipo de pulido sí fue un factor que alteró significativamente los valores de E, independientemente del material testeado ( $p < 0,05$ ). No se observó interacción significativa entre los factores material y pulido, esto significa que las alteraciones que provoca el tipo de pulido son semejantes en los dos materiales, aunque las variaciones registradas debido al pulido químico fueron mayores en las resinas de microondas.

Test *post-hoc*. **DHS de Tukey**

(I) Pulido	(J) Pulido	Diferencia entre medias (I-J)	Significación (p-valor)
Pul. Químico clásico	Grupo control	(*) -0,969	0,002
Pul. Químico clásico	Pul. Químico modificado	(*) -1,432	0,001
Pul. Químico modificado	Grupo control	0,463	0,208

**Tabla 5a.-** Comparaciones múltiples entre tipos de pulidos. (\*) La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

Pulido	n	Subconjunto	
		1	2
Pul. Químico clásico	20	<b>3,752</b>	
Grupo control	20		<b>4,721</b>
Pul. Químico modificado	20		<b>5,184</b>
Significación (p-valor)		1,000	0,213

**Tabla 5b.-** Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

El módulo de elasticidad en probetas sometidas a pulido químico clásico, registraron valores significativamente menores que el resto ( $p < 0,05$ ).

El pulido químico modificado, si bien registró una media de módulo elástico algo por encima del grupo “sin pulido químico”, no se diferenció significativamente de éste

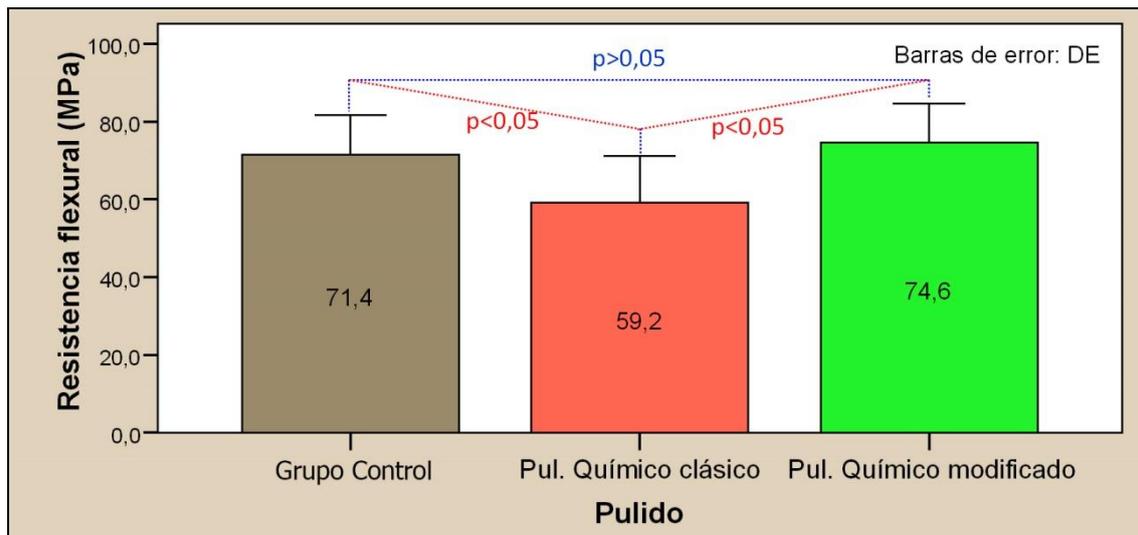
( $p > 0,05$ ) y tal como se expresa en la tabla 5b, ambos están dentro del mismo subconjunto homogéneo.

## RESISTENCIA FLEXURAL O A LA FLEXIÓN

### Resistencia flexural según tipo de pulido

Pulido	n	Media (MPa)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Grupo control	20	71,43	10,19	48,69	85,11	36,42
Pul. Químico Clásico	20	59,22	11,93	38,71	77,96	39,25
Pul. Químico Modificado	20	74,56	10,13	53,86	97,39	43,53

**Tabla 6.-** Valores estadísticos descriptivos de resistencia flexural según tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



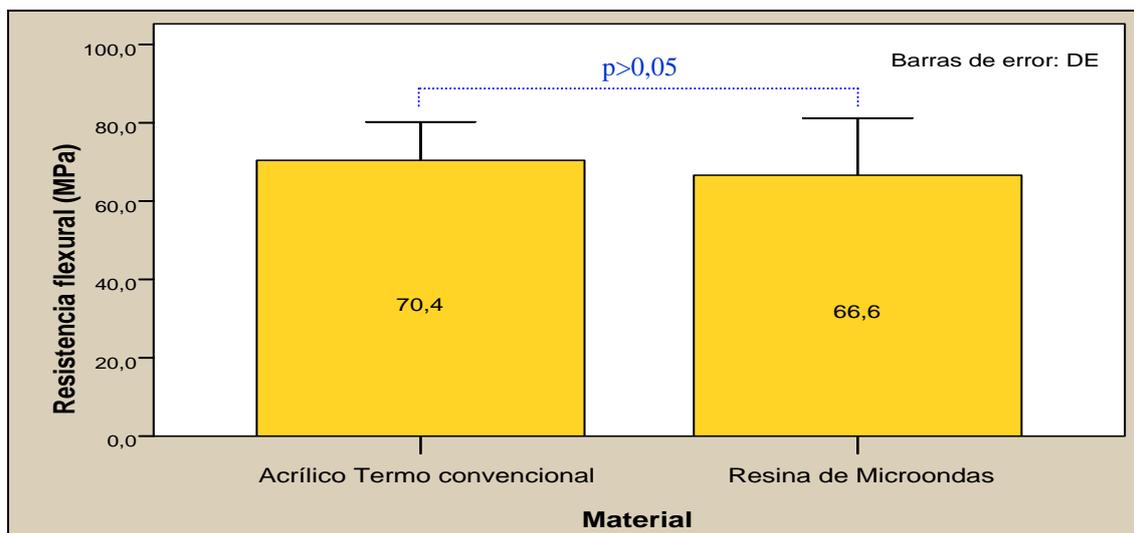
**Fig. 5.-** Resistencia flexural según tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

En un análisis general, sin considerar por el momento el tipo de material, el grupo de pulido químico modificado registró la media de resistencia a la flexión más elevada (74,6MPa), valor muy próximo al obtenido en materiales sin pulido químico(grupo control 71,4MPa). El grupo que nuevamente se diferenció por registrar valores bajos fue el de pulido químico clásico, que registró una media de resistencia de 59,2MPa.

### Resistencia flexural según material

Pulido	n	Media (MPa)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional	30	<b>70,42</b>	9,79	52,59	85,11	32,52
Resina de Microondas	30	<b>66,61</b>	14,57	38,71	97,39	58,68

**Tabla 7.-** Valores estadísticos descriptivos de resistencia flexural según material: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



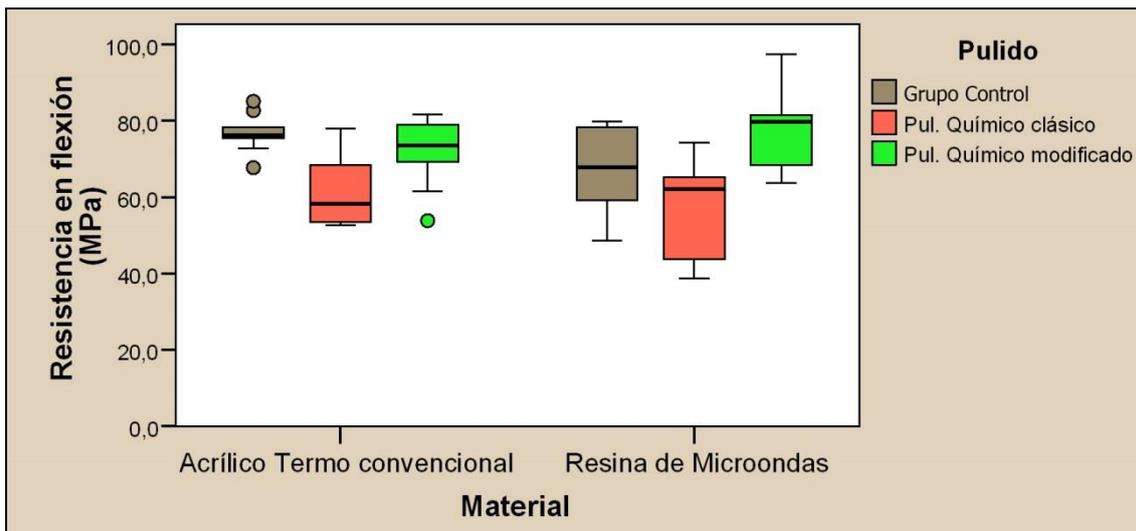
**Fig. 6.-** Resistencia flexural según material. Media y desviación estándar (DE).

La diferencia entre medias de módulo de elasticidad de ambos materiales, fue exigua cuando no se diferenció según la técnica o tipo de pulido.

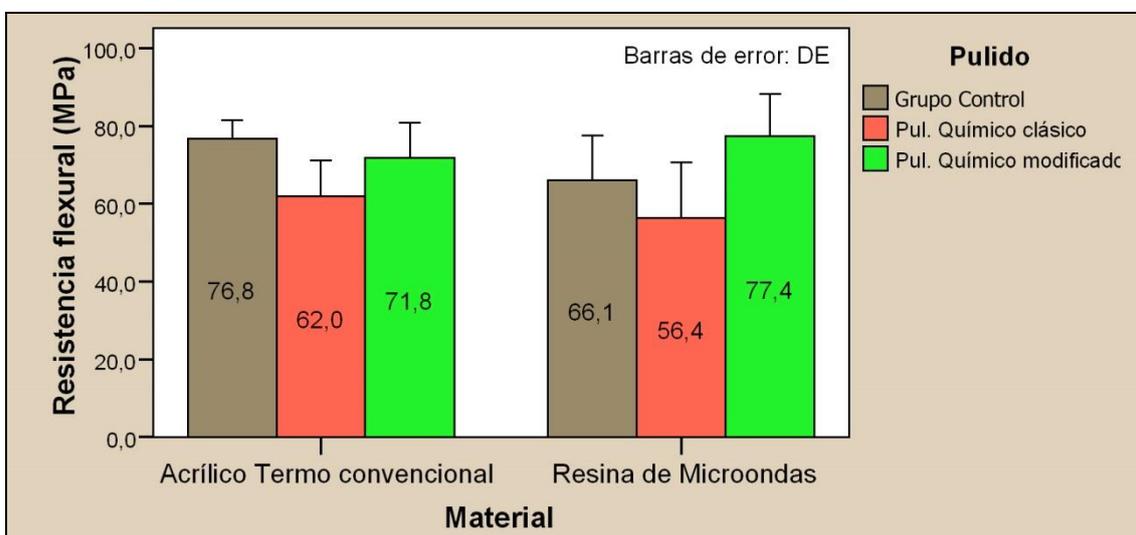
### Resistencia flexural según material y tipo de pulido

Material	Pulido	n	Media (MPa)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional (T)	Grupo Control	10	<b>76,76</b>	4,83	67,74	85,11	17,37
	Pul. Q. Clásico	10	<b>62,03</b>	9,11	52,59	77,96	25,37
	Pul. Q. Modificado	10	<b>71,75</b>	9,08	53,86	81,65	27,79
Resina de Microondas (M)	Grupo Control	10	<b>66,09</b>	11,52	48,69	79,87	31,18
	Pul. Q. Clásico	10	<b>56,42</b>	14,20	38,71	74,37	35,66
	Pul. Q. Modificado	10	<b>77,36</b>	10,85	63,78	97,39	33,61

**Tabla 8.-** Valores estadísticos descriptivos de resistencia flexural según material y tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



**Fig. 7.-** Diagrama de cajas. Resistencia flexural según material y tipo de pulido.



**Fig. 8.-** Resistencia flexural según material y tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

Los valores medios de resistencia en los probetas sometidas a pulido químico modificado y las del grupo control, registraron valores dentro del rango medio a superior, en tanto que las medias de resistencia correspondientes a los subgrupos con pulido químico clásico, fueron las más bajas, con valores de 62,0 Mpa y 56,4 MPa respectivamente (Fig. 7 y 8). El subgrupo resina de microondas con pulido químico modificado, registró la media resistencia más elevada de todos los subgrupos evaluados (77,4 MPa).

## Pruebas de los efectos entre factores. (ANOVA)

Variable dependiente: Resistencia Flexural

Factor	Sig. estadística (p-valor)
Material	0,202
Pulido	0,001
Material * Pulido	0,055

**Tabla 9.-** Valores de significatividad estadística según factores e interacción (ANOVA de dos vías).

Las diferencias de resistencia a la flexión entre los materiales analizados, no resultaron estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). El tipo de pulido sí fue un factor asociado significativamente a los valores de resistencia ( $p < 0,05$ ). El tipo de pulido químico parece influir en mayor grado en resinas de microondas que en acrílicos termo convencionales, aunque de acuerdo al resultado de ANOVA (interacción Material \* Pulido;  $p = 0,055$ ), esta diferencia en la respuesta al pulido químico no llegó a ser significativa estadísticamente.

### Test *post-hoc*. DHS de Tukey

(I) Pulido	(J) Pulido	Diferencia entre medias (I-J)	Significación (p-valor)
Pul. Químico clásico	Grupo control	(*) -12.202	0,002
Pul. Químico clásico	Pul. Químico modificado	(*) -15.333	0,001
Pul. Químico modificado	Grupo control	3.131	0,619

**Tabla 10a.-** Comparaciones múltiples entre tipos de pulidos. (\*) La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

Pulido	n	Subconjunto	
		1	2
Pul. Químico clásico	20	<b>59,22</b>	
Grupo Control	20		<b>71,43</b>
Pul. Químico modificado	20		<b>74,56</b>
Significación (p-valor)		1,000	0,625

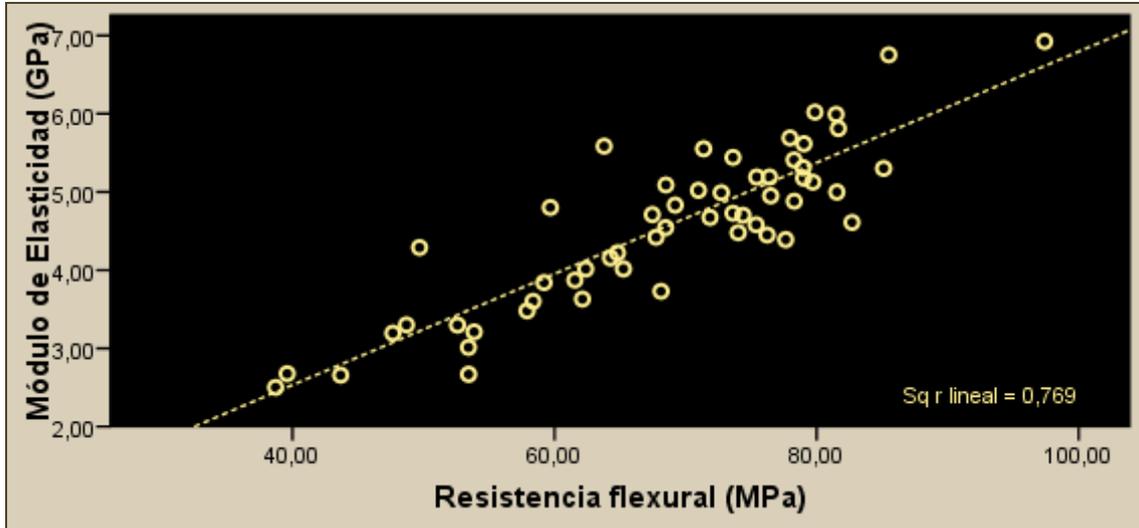
**Tabla 10b.-** Medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Los valores de resistencia flexural en probetas sometidas a pulido químico clásico, fueron significativamente menores que el resto ( $p < 0,05$ ).

El pulido químico modificado, si bien registró una media general de resistencia algo por encima del grupo control, del cual no se distanció significativamente ( $p > 0,05$ ), ambos

subgrupos pueden agruparse en un mismo subconjunto homogéneo por mostrar una respuesta semejante (tabla 10b).

### Correlación entre Módulo de elasticidad y Resistencia flexural.



**Fig. 9.-** Diagrama de dispersión: Módulo elástico vs Resistencia flexural.

Correlación entre variables	Correlación de Pearson	Significación ( <i>p</i> -valor)
Módulo de Elasticidad (GPa) Resistencia flexural (MPa)	0,877(**)	0,001

**Tabla 11.-** Correlación bivariada. (\*\*) La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

La correlación entre el módulo de elasticidad y la resistencia flexural es significativa ( $p < 0,01$ ).

### Análisis de regresión lineal

Modelo: Variables predictoras: (Constante), Resistencia flexural (MPa)  
 Variable dependiente: Módulo de Elasticidad (GPa)

R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida
0,877	0,769	0,765

**Tabla 12.-** Determinante (R cuadrado) correspondiente al modelo de regresión lineal.

El valor calculado del determinante R<sup>2</sup>, muestra un aceptable ajuste del modelo, resultado que se visualiza en el gráfico de dispersión (Fig. 9), en donde se observa una

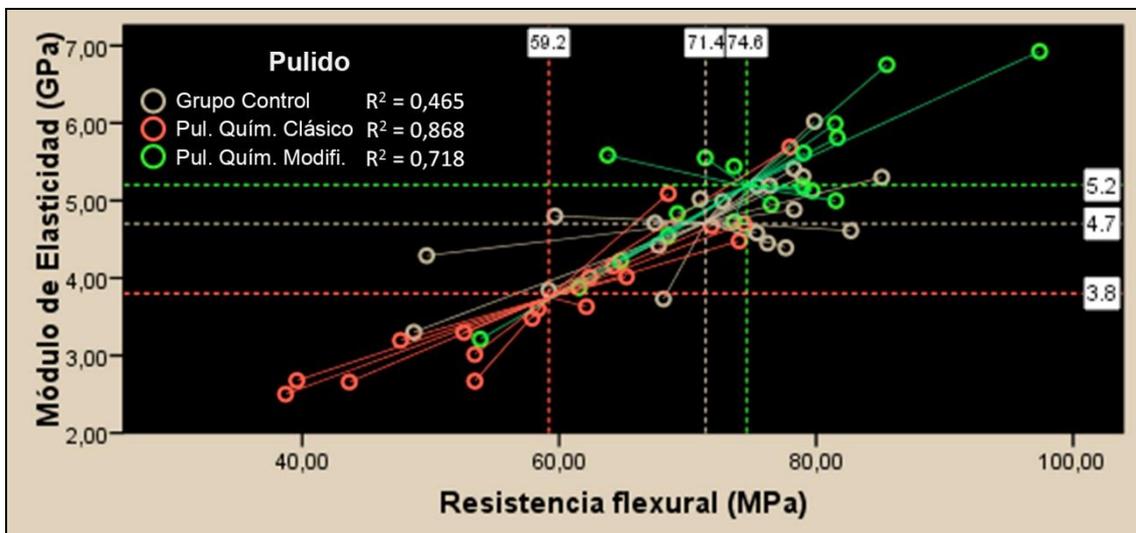
distribución de valores cercanos a la línea de regresión. El modelo es explicativo al 76.5%.

**ANOVA:**  $F=180,12$ ;  $p=7,73 \cdot 10^{-19}$  ( $p \ll 0,01$ )

**Ecuación de regresión (lineal):**  $y = 0,071 x - 0,309$

Siendo  $y$ : Módulo de elasticidad (GPa);  $x$ : Resistencia flexural (MPa); (0,071) es el coeficiente  $x$ , y (-0,309) corresponde al término constante.

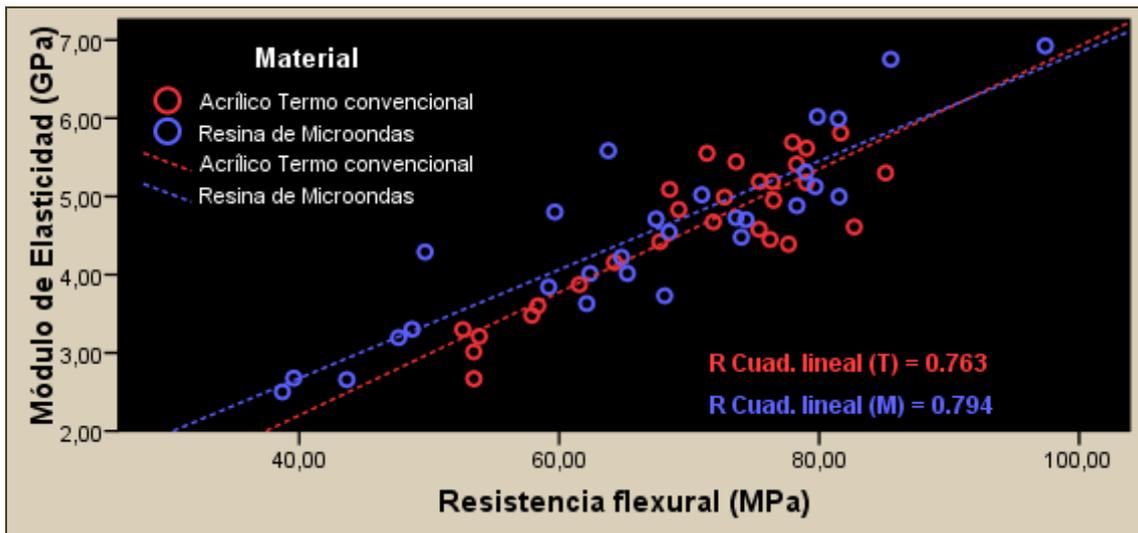
Módulo elástico vs Resistencia flexural según **tipo e pulido**



**Fig. 10.-** Diagrama de dispersión: Módulo elástico vs Resistencia flexural según tipo de pulido.

En la figura 10 puede observarse la distribución agrupada alrededor de los centroides (cruce entre medias), correspondiente a cada tipo de pulido. Queda en evidencia el efecto que el pulido químico clásico afecta las propiedades mecánicas evaluadas, disminuyendo la resistencia y el módulo elástico.

### Módulo elástico vs Resistencia flexural según material



**Fig. 11.-** Diagrama de dispersión: Módulo elástico vs Resistencia flexural según material.

En el gráfico de dispersión de la figura 11, puede apreciarse la cercanía y paralelismo existente entre las líneas de ajuste para cada material. Cabe mencionar que el material de microondas muestra una distribución algo más dispersa que el termo convencional

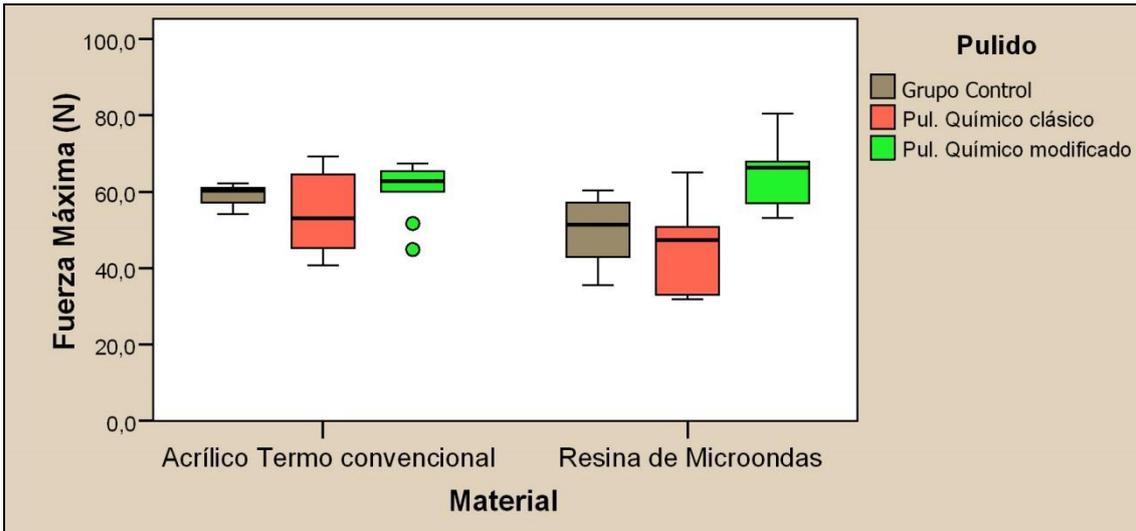
### Fuerza máxima según material y tipo de pulido

De acuerdo a los valores expresados en la tabla 13, los valores de fuerza máxima fueron más elevados cuando se utilizó pulido químico modificado en ambos materiales. En el otro extremo, con valores de fuerza máxima bajos, se ubicó el grupo de pulido químico clásico, mientras que el grupo sin pulido químico registró valores intermedios, con un esquema muy semejante a lo visto para la variable resistencia, precisamente las diferencias se deben a las pequeñas variaciones en los espesores de las muestras.

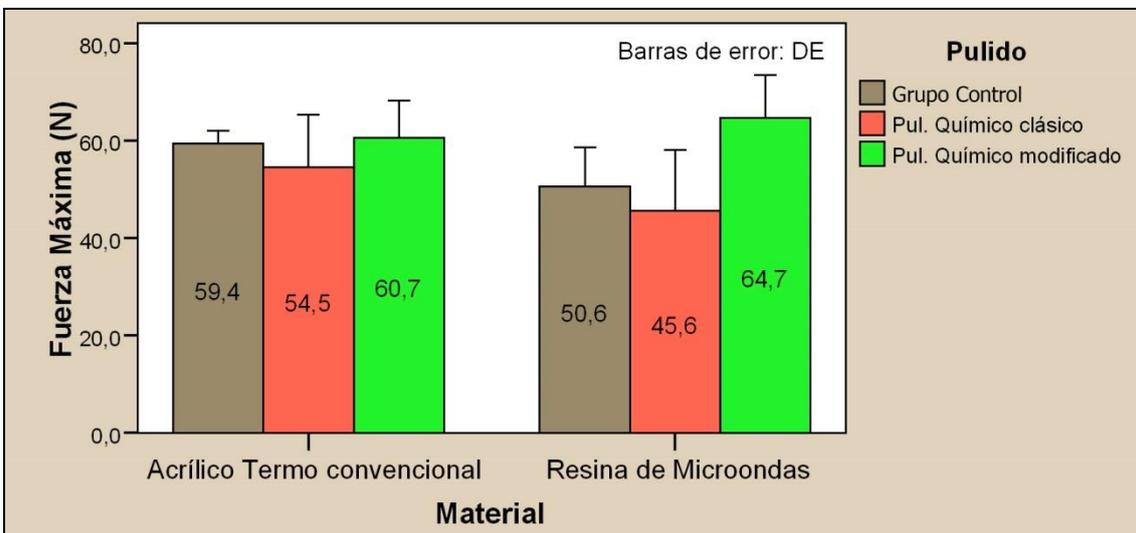
### Fuerza máxima según material y tipo de pulido

Material	Pulido	n	Media (N)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional (T)	Grupo Control T0)	10	<b>59,41</b>	2,71	54,23	62,15	7,92
	Pul. Q. Clásico (T1)	10	<b>54,55</b>	10,76	40,70	69,19	28,49
	Pul. Q. Modificado (T2)	10	<b>60,68</b>	7,58	44,88	67,45	22,57
Resina de Microondas (M)	Grupo Control (M0)	10	<b>50,60</b>	8,03	35,55	60,32	24,77
	Pul. Q. Clásico (M1)	10	<b>45,59</b>	12,53	31,88	64,98	33,10
	Pul. Q. Modificado (M2)	10	<b>64,70</b>	8,79	53,14	80,51	27,37

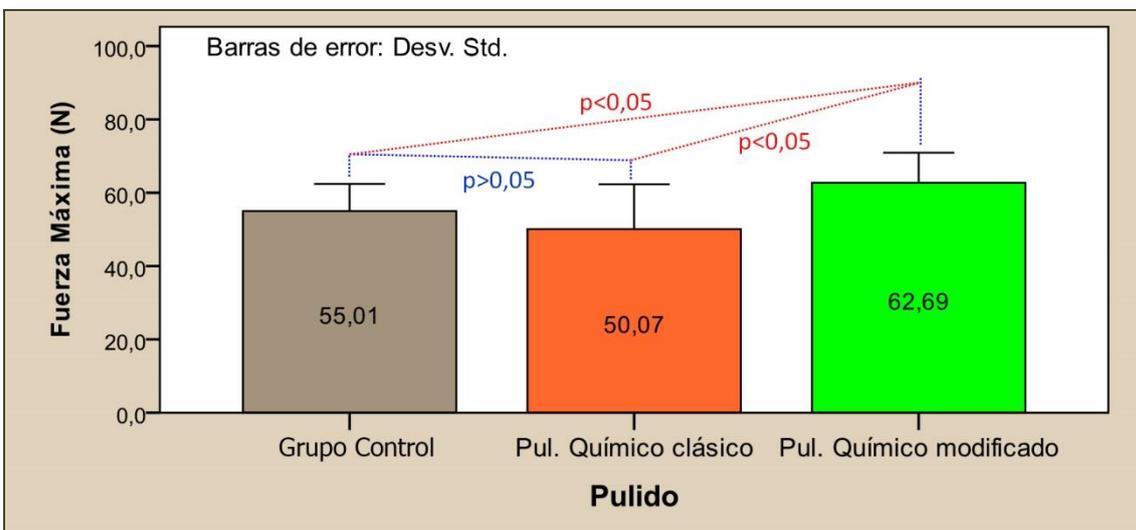
**Tabla 13.-** Valores estadísticos descriptivos de fuerza máxima según material y tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



**Fig. 12.-** Diagrama de cajas. Fuerza máxima según material y tipo de pulido.



**Fig. 13.-** Fuerza máxima según material y tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).



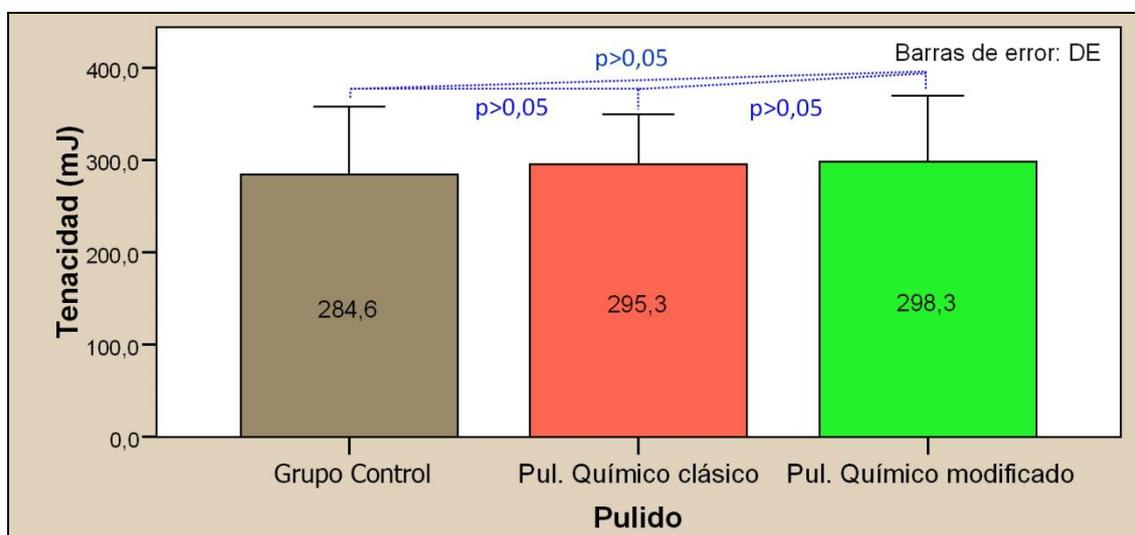
**Fig. 14.-** Fuerza máxima según tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

## TENACIDAD

### Tenacidad según tipo de pulido

Pulido	n	Media (mJ)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Grupo Control	20	<b>284,62</b>	73,71	125,68	393,87	268,19
Pul. Químico Clásico	20	<b>295,29</b>	54,65	227,73	416,24	188,51
Pul. Químico Modificado	20	<b>298,28</b>	71,81	159,99	441,18	281,19

**Tabla 14.-** Valores estadísticos descriptivos de tenacidad según tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



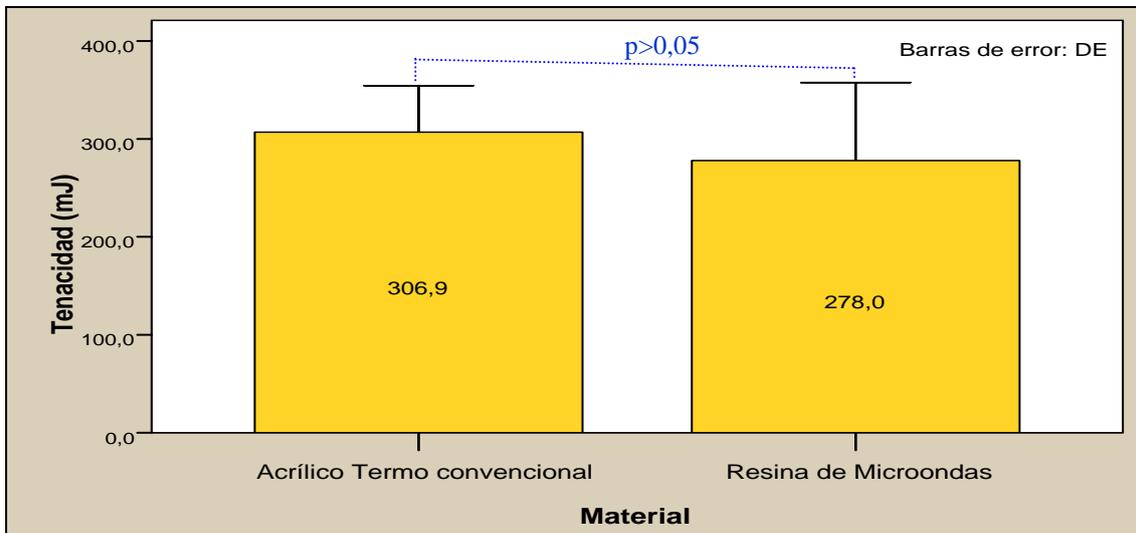
**Fig. 15.-** Tenacidad según tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

En términos generales y sin diferenciar por tipo de material, el grupo de pulido químico modificado registró la media de tenacidad levemente mayor que el resto (298mJ), seguido por el grupo de pulido químico clásico (295,3mJ) y algo menos el grupo de muestras sin pulido químico (284,6mJ).

### Tenacidad según material

Pulido	n	Media (mJ)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional	28	<b>306,93</b>	47,38	190,96	393,87	202,91
Resina de Microondas	28	<b>277,96</b>	79,65	125,68	441,18	315,50

**Tabla 15.-** Valores estadísticos descriptivos de tenacidad según material: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



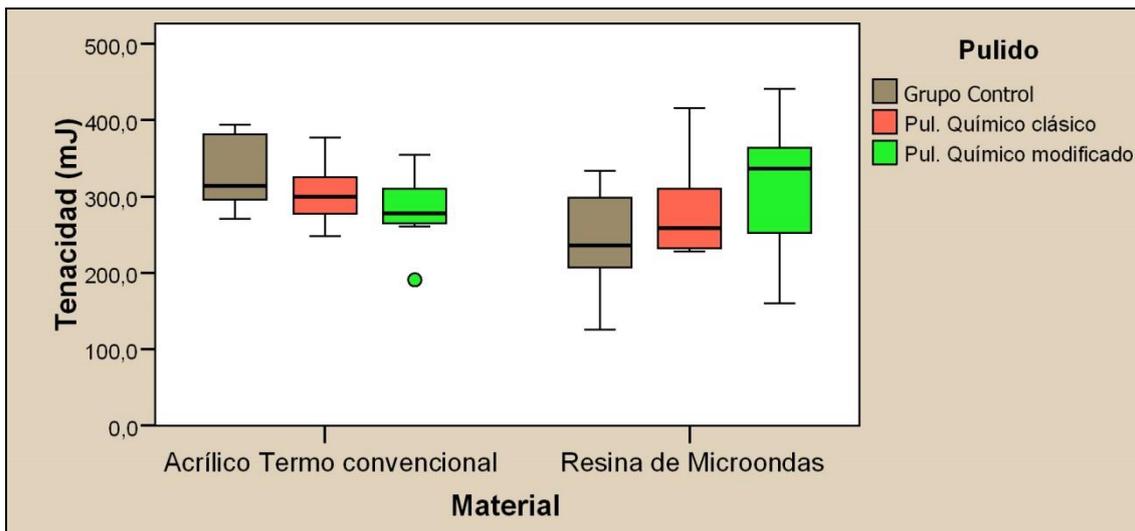
**Fig. 16.-** Tenacidad según material. Media y desviación estándar (DE).

El acrílico termo convencional registró una media de tenacidad similar que el material de resina para microondas. ( $p=0,117$ )

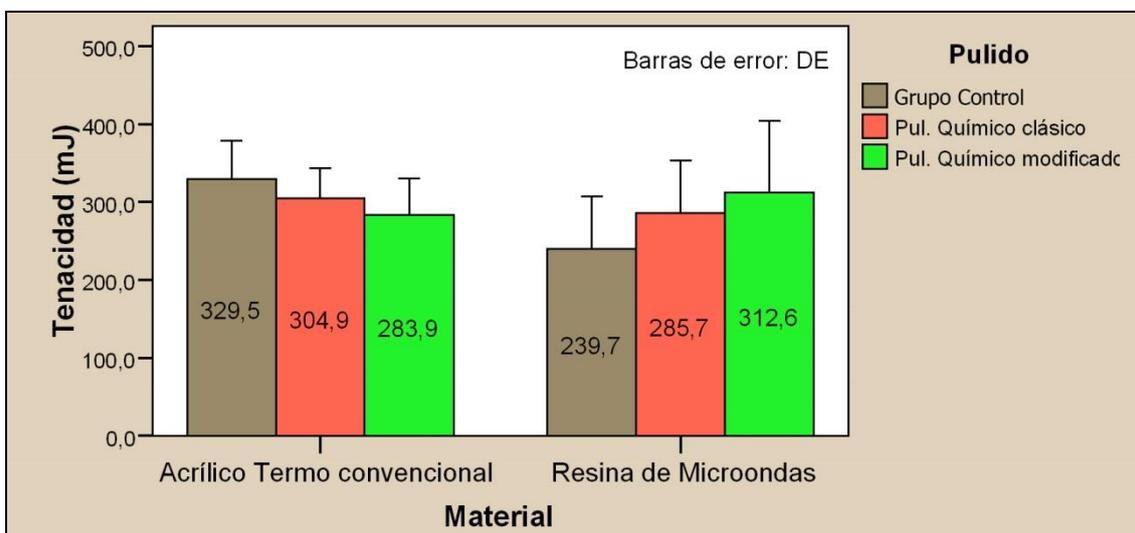
### Tenacidad según material y tipo de pulido

Material	Pulido	n	Media (mJ)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional (T)	Grupo Control	10	<b>329,50</b>	48,94	270,96	393,87	122,91
	Pul. Q. Clásico	10	<b>304,85</b>	38,94	248,25	377,20	128,95
	Pul. Q. Modificado	10	<b>283,91</b>	46,14	190,96	354,70	163,74
Resina de Microondas (M)	Grupo Control	10	<b>239,74</b>	67,80	125,68	333,46	207,78
	Pul. Q. Clásico	10	<b>285,74</b>	68,00	227,73	416,24	188,51
	Pul. Q. Modificado	10	<b>312,65</b>	91,46	159,99	441,18	281,19

**Tabla 16.-** Valores estadísticos descriptivos de tenacidad según material y tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



**Fig. 17.-** Diagrama de cajas. Tenacidad según material y tipo de pulido.



**Fig. 18.-** Tenacidad según material y tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

La respuesta de cada material frente al tipo de pulido químico en relación a la tenacidad, fue inversa. En acrílicos termo-convencionales, el pulido químico tuvo un efecto reductor en la tenacidad, particularmente el pulido químico modificado. En contraposición, el pulido químico le confirió mayor tenacidad a las resinas para microondas, en especial al utilizar pulido químico modificado.

### Pruebas de los efectos entre factores. (ANOVA)

Variable dependiente: Tenacidad

Factor	Sig. estadística (p-valor)
Material	0,117
Pulido	0,778
Material * Pulido	0,019

**Tabla 17.-** Valores de significatividad estadística (ANOVA de dos vías).

Como resultó significativa la interacción (Material \* Pulido), lo cual implica que el factor pulido químico actuó de manera diferente en cada material, se analizará por separado el efecto que el tipo de pulido genera en los acrílicos y en las resinas respecto a la tenacidad o capacidad de absorción de energía.

Material	Pulido	Media (mJ)	Sig. estadística (p-valor)
Acrílico Termo convencional (T)	Grupo control	<b>329,50</b>	0,108
	Pul. Q. Clásico	<b>304,85</b>	
	Pul. Q. Modificado	<b>283,91</b>	
Resina de Microondas (M)	Grupo control	<b>239,74</b>	0,128
	Pul. Q. Clásico	<b>285,74</b>	
	Pul. Q. Modificado	<b>312,65</b>	

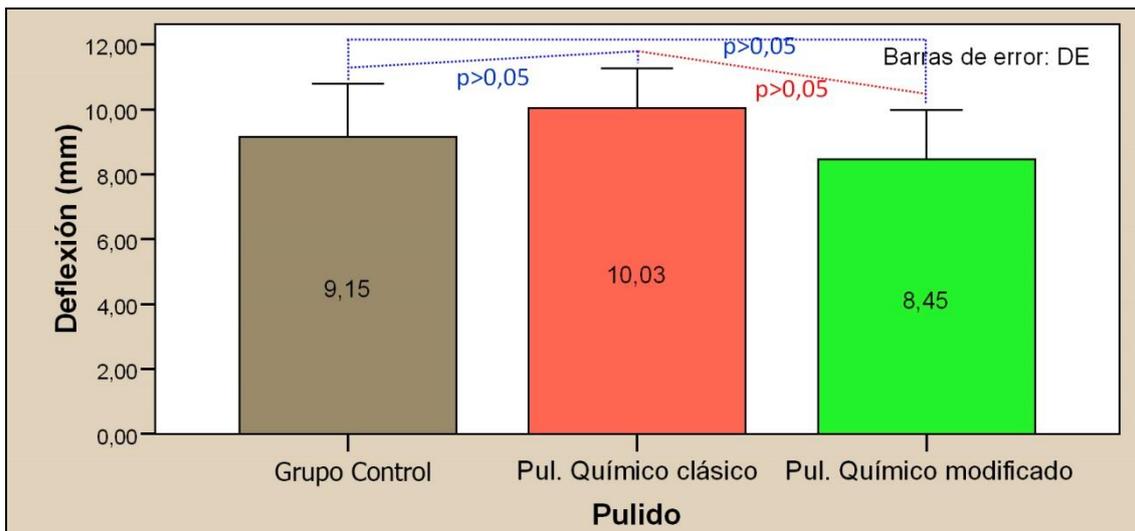
**Tabla 18.-** Contraste entre tipo de pulido según material (ANOVA de una vía).

Pese a las diferencias de tenacidad registradas, éstas no resultaron significativas estadísticamente en ninguno de los materiales ( $p > 0.05$ ). No obstante este resultado, la tendencia observada puede resultar de interés.

### Deflexión máxima según tipo de pulido

Pulido	n	Media (mm)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Grupo Control	20	<b>9.15</b>	1,63	5,65	11,56	5,91
Pul. Químico Clásico	20	<b>10</b>	1,23	7,36	11,86	4,50
Pul. Químico Modificado	20	<b>8.45</b>	1,53	5,48	11,08	5,60

**Tabla 19.-** Valores estadísticos descriptivos de flecha máxima según tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



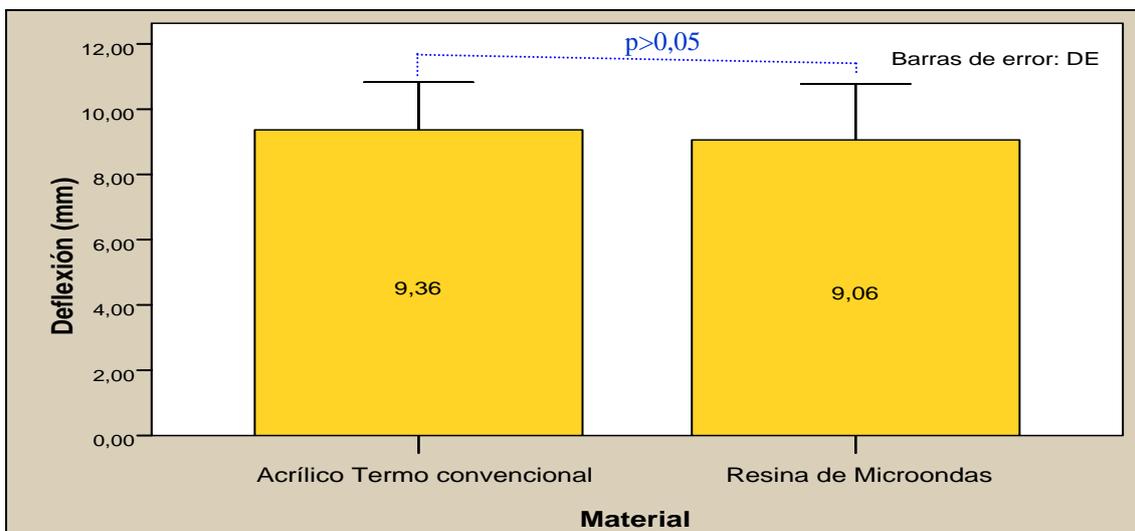
**Fig. 19.-** Deflexión según tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

En términos generales y sin diferenciar por tipo de material, el grupo de pulido químico clásico registró las máximas deflexiones (10,03mm de media), en orden decreciente, le siguió el grupo sin pulido químico (9,15mm) y finalmente, con valores medios más bajos, el grupo de muestras tratadas con pulido químico modificado (8,45mm).

### Deflexión según material

Pulido	n	Media (mm)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional	30	<b>9,36</b>	1,46	6,41	11,86	5,45
Resina de Microondas	30	<b>9,06</b>	1,72	5,48	11,51	6,03

**Tabla 20.-** Valores estadísticos descriptivos de deflexión según material: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



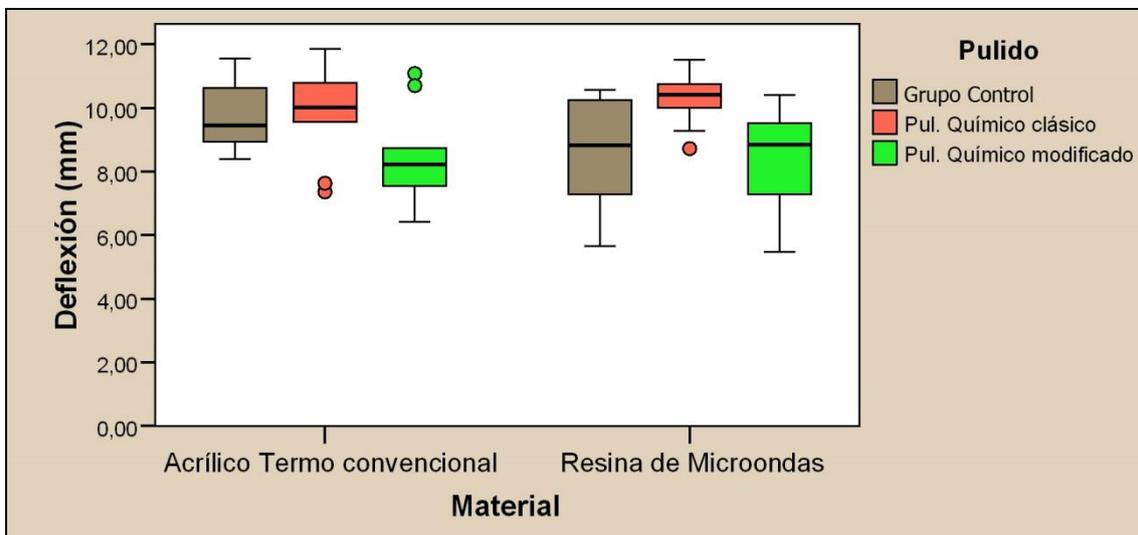
**Fig. 20.-** Deflexión según material. Media y desviación estándar (DE).

La diferencia entre medias flecha máxima de ambos materiales fue de sólo 0.3mm,

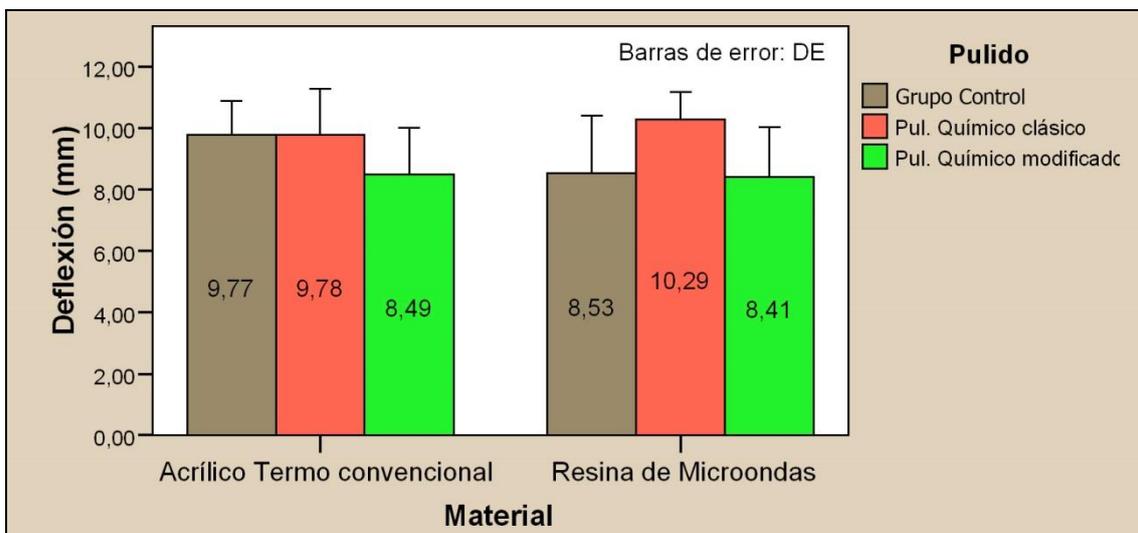
**Deflexión según material y tipo de pulido**

Material	Pulido	n	Media (mm)	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional (T)	Grupo Control	10	<b>9,77</b>	1,12	8,40	11,56	3,16
	Pul. Q. Clásico	10	<b>9,78</b>	1,50	7,36	11,86	4,50
	Pul. Q. Modificado	10	<b>8,49</b>	1,52	6,41	11,08	4,67
Resina de Microondas (M)	Grupo Control	10	<b>8,53</b>	1,87	5,65	10,56	4,91
	Pul. Q. Clásico	10	<b>10</b>	0,89	8,72	11,51	2,79
	Pul. Q. Modificado	10	<b>8,41</b>	1,63	5,48	10,41	4,93

**Tabla 21.-** Valores estadísticos descriptivos de deflexión según material y tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



**Fig. 21.-** Diagrama de cajas. Deflexión según material y tipo de pulido.



**Fig. 22.-** Deflexión según material y tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

Los valores medios de deflexión en las probetas sometidas a pulido químico modificado fueron los más bajos en ambos materiales. Las que no tenían pulido químico, registraron valores dentro de un rango intermedio, en tanto que las medias de resistencia correspondientes a los subgrupos con pulido químico clásico, fueron las más altas, particularmente al considerar el material de resina para microondas.

### Pruebas de los efectos entre factores. (ANOVA)

Variable dependiente: Deflexión o flecha máxima

Factor	Sig. estadística (p-valor)
Material	0.488
Pulido	0.008
Material * Pulido	0.177

**Tabla 22.-** Valores de significatividad estadística según factores e interacción (ANOVA de dos vías).

Las diferencias de deflexión entre los materiales analizados, no resultaron estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). El tipo de pulido sí fue un factor asociado significativamente a los valores de deflexión ( $p = 0,008$ ). El tipo de pulido químico afectó de la misma manera en ambos materiales (interacción Material \* Pulido;  $p = 0,177$ ).

### Test *post-hoc*. DHS de Tukey

(I) Pulido	(J) Pulido	Diferencia entre medias (I-J)	Significación (p-valor)
Pul. Químico clásico	Grupo control	0,884	0,160
Pul. Químico clásico	Pul. Químico modificado	(*) -1,584	0,006
Pul. Químico modificado	Grupo control	-0,699	0,313

**Tabla 23a.-** Comparaciones múltiples entre tipos de pulidos. (\*) La diferencia de medias es significativa al nivel  $p < 0,005$

Pulido	n	Subconjunto	
		1	2
Pul. Químico clásico	20	8,451	
Grupo control	20	9,150	9,150
Pul. Químico modificado	20		10,034
Significación (p-valor)		0,319	0,165

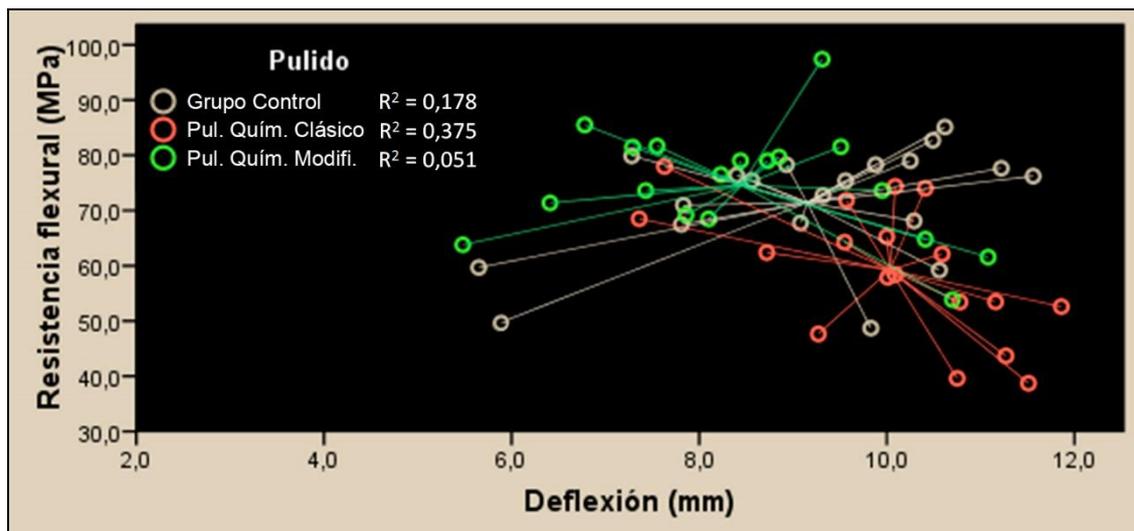
**Tabla 23b.-** Medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Sólo se diferenciaron entre sí los dos tipos de pulido químico (clásico y modificado) ( $p=0,006$ ), el grupo control, registró valores intermedios y compartió características estadísticas con ambos tipos de pulidos químicos.

### Análisis complementario

#### Deflexión vs Resistencia a la flexión según tipo de pulido

Se realizó el siguiente análisis combinando dos parámetros ya estudiados, con el fin de evaluar el comportamiento global de las muestras frente al tipo de pulido.



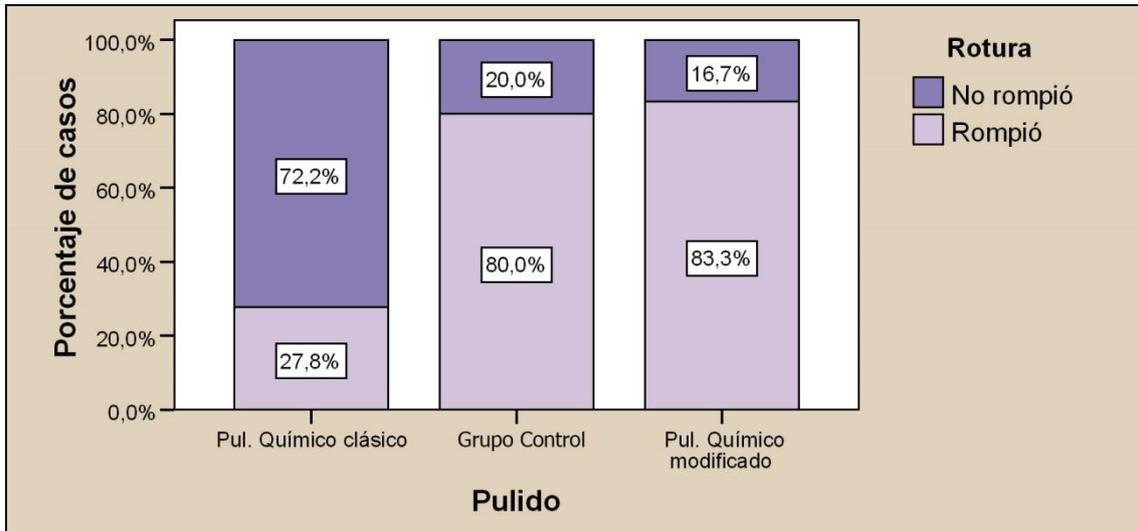
**Fig. 23.-** Diagrama de dispersión: Resistencia a la flexión vs Deflexión según grupo.

Se observa que el grupo de pulido químico modificado se caracteriza por poseer una mayor resistencia y menor grado de deflexión, el grupo sin pulido registró valores cercanos a éste, pero con menor resistencia y algo más de deflexión, en tanto que el grupo de pulido químico clásico, registró valores de resistencia bajos y de deflexión altos.

#### Porcentaje de probetas rotas según tipo de pulido.

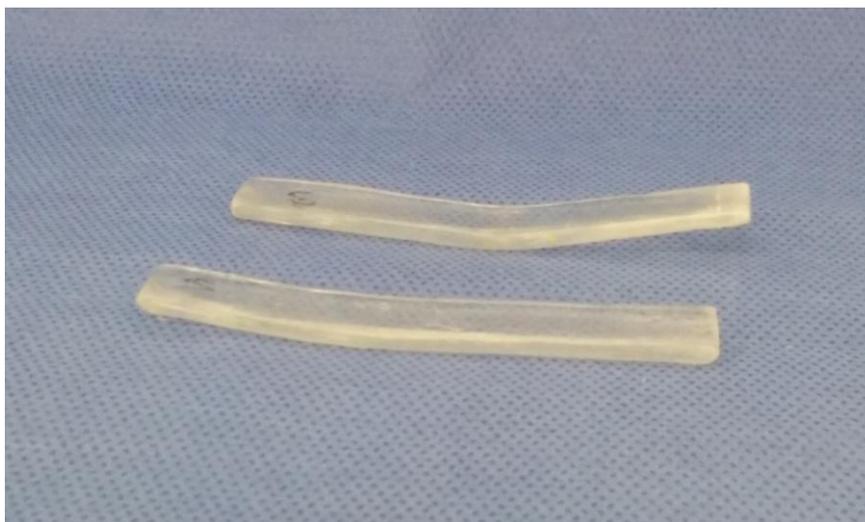
Pulido	Estadístico	Ruptura	
		No rompió	Rompió
P. Quím. Clásico	Recuento	13	5
	%	<b>72,2</b>	<b>27,8</b>
Grupo Control	Recuento	4	16
	%	<b>20,0</b>	<b>80,0</b>
P. Químico Modificado	Recuento	3	15
	%	<b>16,7</b>	<b>83,3</b>
Chi <sup>2</sup> de Pearson: 15,444		<i>p</i> = 0,001	

**Tabla 11.-** Tabla de contingencia **Tipo de Pulido vs Ruptura** y contraste estadístico.



**Fig. 24.-** Porcentajes de conclusión de ensayos según tipo de pulido.

El porcentaje de casos en los cuales no se produjo la ruptura fue significativamente más alto en el grupo de pulido químico clásico (72,2%) que los grupos restantes: 20,0% en probetas sin pulido y 16,7% en aquellas que tenían pulido químico modificado.



**Fig. 25.-** Probetas rectangulares que no fracturaron durante el test.

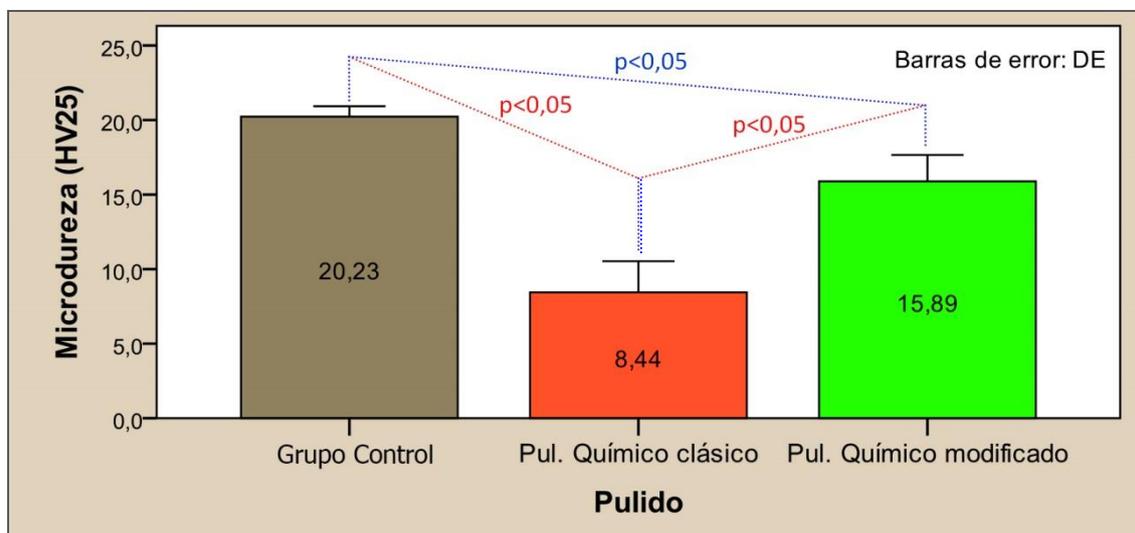
## RESULTADOS EN PRUEBAS DE MICRODUREZA

Se evaluaron los datos obtenidos de los ensayos de microdureza Vickers ( $HV_{25}$ ) realizados sobre dos tipos de materiales: Acrílico Termo convencional y Resina de microondas, considerando tres categorías de acabado superficial: sin pulido químico; con pulido químico clásico y con pulido químico modificado.

### Microdureza ( $HV_{25}$ ) según tipo de pulido

Pulido	n	Media ( $HV_{25}$ )	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Grupo control	10	<b>20,23</b>	0,70	19,00	21,00	2,00
Pul. Químico Clásico	10	<b>8,44</b>	2,09	6,36	13,70	7,34
Pul. Químico Modificado	10	<b>15,89</b>	1,77	13,64	18,18	4,54

**Tabla 1.-** Valores estadísticos descriptivos de microdureza según tipo de pulido: Recuento de casos (n); Media; desviación estándar (DE); Mínimo; Máximo y Rango.



**Fig. 1.-** Microdureza según tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

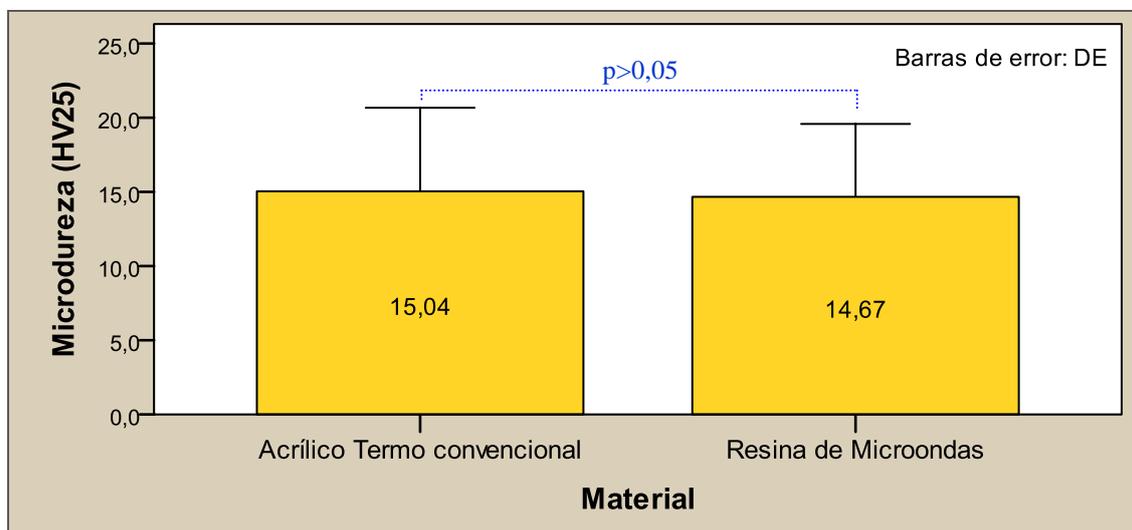
Independientemente del material utilizado, el tipo de pulido demostró ser un factor que influye sobre la dureza superficial del material. El pulido químico clásico registró la media más baja (8,44 $VH_{25}$ ), en contraste con los valores de tendencia central (media)

correspondiente a las otras dos categorías: Pulido químico modificado (15,89VH<sub>25</sub>) y Grupo control (20,23VH<sub>25</sub>).

### Microdureza (HV<sub>25</sub>) según material

Pulido	n	Media (HV <sub>25</sub> )	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional	15	<b>15,04</b>	5,63	6,36	21,00	14,64
Resina de Microondas	15	<b>14,67</b>	4,91	7,23	21,00	13,77

**Tabla 2.-** Valores estadísticos descriptivos microdureza según material: Recuento de casos (n); Media; desviación estándar (DE); Mínimo; Máximo y Rango.



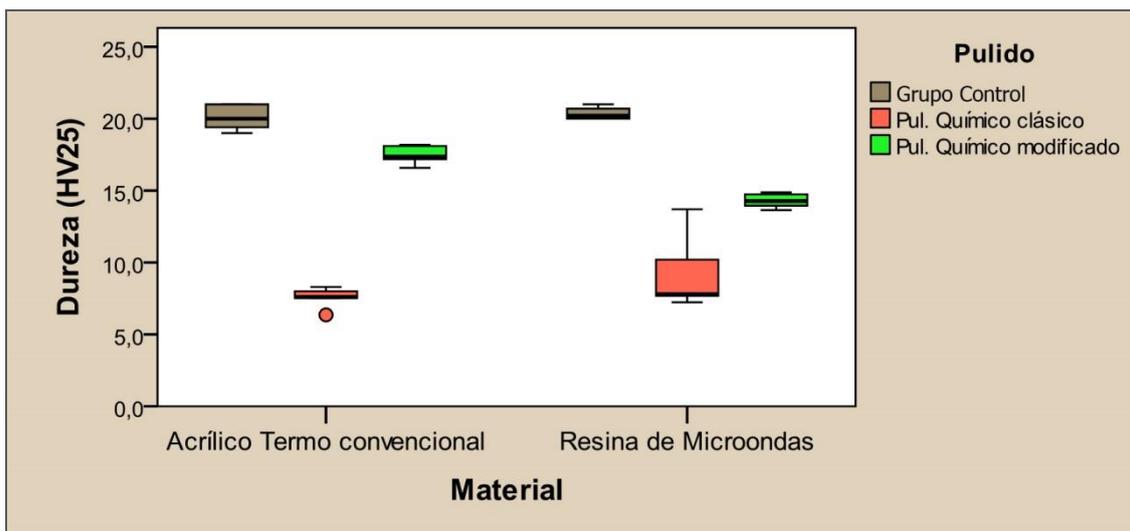
**Fig. 2.-** Microdureza según material. Media y desviación estándar (DE).

En términos generales (sin discriminar por tipo de pulido), la diferencia entre medias de microdureza de ambos materiales fue pequeña.

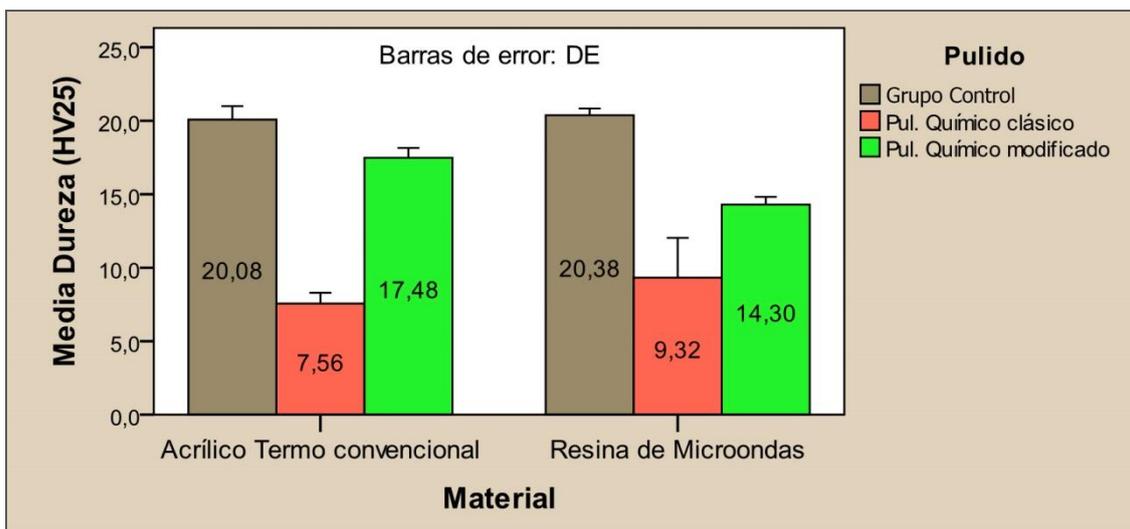
### Microdureza según material y tipo de pulido

Material	Pulido	n	Media (HV <sub>25</sub> )	DE	Mínimo	Máximo	Rango
Acrílico Termo convencional (T)	Grupo control	5	<b>20,08</b>	0,91	19,00	21,00	2,00
	Pul. Q. Clásico	5	<b>7,56</b>	0,74	6,36	8,30	1,94
	Pul. Q. Modificado	5	<b>17,48</b>	0,67	16,58	18,18	1,60
Resina de Microondas (M)	Grupo control	5	<b>20,38</b>	0,45	20,00	21,00	1,00
	Pul. Q. Clásico	5	<b>9,32</b>	2,71	7,23	13,70	6,47
	Pul. Q. Modificado	5	<b>14,30</b>	0,52	13,64	14,88	1,24

**Tabla 3.-** Valores estadísticos descriptivos del microdureza según material y tipo de pulido: Recuento de casos; media; desviación estándar (DE); mínimo; máximo y rango.



**Fig. 3.-** Diagrama de cajas. Microdureza según material y tipo de pulido.



**Fig. 4.-** Microdureza según material y tipo de pulido. Media y desviación estándar (DE).

Las probetas sin pulido químico de los dos materiales evaluados registraron los valores de microdureza más elevados, 20,08VH<sub>25</sub> de media para acrílico convencional y 20,38VH<sub>25</sub> de media para resina de microondas. Al considerar los valores dentro de los subgrupos sometidos a pulido químico clásico, los valores de microdureza fueron significativamente más bajos, particularmente en material acrílico termo-convencional (9,32VH<sub>25</sub> de media en el grupo microondas y 7,56VH<sub>25</sub> de media en el grupo termocurado convencional). Finalmente, los ensayos de dureza realizados sobre materiales con pulido químico modificado, arrojaron valores microdureza intermedios, y en este caso la respuesta fue diferente según el material utilizado (17,48VH<sub>25</sub> de media

en el grupo microondas y 14,30VH<sub>25</sub> de media en el grupo termocurado convencional).

**Modelo lineal univariante. (ANOVA de dos vías o factores)**

Variable dependiente: Microdureza

<b>Factor</b>	<b>Sig. estadística (p-valor)</b>
Material	0,428
Pulido	<0,001
Material * Pulido	0,007
R <sup>2</sup> =0,951; (R <sup>2</sup> corregido)=0,941	

**Tabla 4.-** Valores de significancia estadística según factores e interacción (ANOVA de dos vías).

El determinante R<sup>2</sup> indica el nivel de ajuste del modelo planteado, que en este caso fue del 94%, siendo el porcentaje restante atribuible al error experimental, que constituye la fuente de variación que aglutina a todos los componentes no controlados dentro del modelo de clasificación experimental.

Las diferencias de microdureza entre los materiales analizados, no resultaron estadísticamente significativas (p>0,05). El tipo de pulido sí fue un factor que alteró significativamente los valores de dureza superficial (p<0,05). La interacción entre los factores material y pulido resultó significativa (p<0,05), esto significa que el efecto de uno de los factores depende del otro, específicamente al considerar la categoría con pulido químico modificado, las diferencias de dureza según sea el material de acrílico termo convencional o de resina de microondas resultaron significativas (tabla 6).

**Test post-hoc. DHS de Tukey**

(I) Pulido	(J) Pulido	Diferencia entre medias (I-J)	Significación (p-valor)
Pul. Químico clásico	Grupo control	(*) -11,79	<0,001
Pul. Químico clásico	Pul. Químico modificado	(*) -7,45	<0,001
Pul. Químico modificado	Grupo control	(*) -4,34	<0,001

**Tabla 5a.-** Comparaciones múltiples entre tipos de pulidos. (\*) La diferencia de medias es significativa al nivel p<0,05.

Pulido	n	Subconjunto		
		1	2	3
Pul. Químico clásico	10	<b>8,44</b>		
Pul. Químico modificado	10		<b>15,89</b>	
Grupo control	10			<b>20,23</b>
Significación ( <i>p</i> -valor)		1,000	1,000	1,000

**Tabla 5b.-**Medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Los valores de dureza (microdureza), registrados en probetas sometidas a pulido químico clásico, resultaron significativamente menores que el resto ( $p < 0,05$ ) y en el otro extremo, la categoría “sin pulido químico”, registró valores de microdureza significativamente mayores que el resto ( $p < 0,05$ ). Las probetas tratadas con pulido químico modificado, registraron valores intermedios (pero más próximos al grupo sin pulido químico). Se conformaron tres subconjuntos homogéneos, uno para cada categoría de pulido dado que las tres categorías de pulido se diferenciaron significativamente entre sí.

#### Contraste en microdureza entre materiales según tipo de pulido

Pulido	Material M (media HV <sub>25</sub> )	Material T (media HV <sub>25</sub> )	Diferencia entre medias (M-T)	Significación ( <i>p</i> -valor)
Grupo control	20,38	20,08	0,30	0,094
Pul. Químico clásico	9,32	7,56	1,76	0,198
Pul. Químico modificado	14,30	17,48	(*) -3,18	<0,001

**Tabla 6.-** Comparaciones entre materiales según tipo de pulido, ANOVA de un factor (material).

## DISCUSIÓN

El uso del polimetilmetacrilato como material para base de prótesis, tanto totales como parciales, es conocido desde hace más de 70 años.

Es un material de bajo costo y necesita de poca aparatología para la fabricación de dispositivos protéticos usados para rehabilitar a pacientes parcial o totalmente edéntulos.

Con el transcurso del tiempo se generalizó su uso en otras aplicaciones como aparatos removibles de ortodoncia, cubetas de impresión, placas de relajación o reposicionamiento mandibular, dispositivos intraorales etc.

Si bien este material presenta muchas ventajas y es sabido que las resinas de termocurado por baño de agua son las más utilizadas; sin embargo presentan el inconveniente del considerable tiempo que insume su procesado y pulido final antes de ser instalados en boca.

La técnica del pulido químico (Gotusso 1969) busca lograr un pulido eficiente de las superficies en forma externas e internas de las prótesis sin producir desgastes o distorsiones en la base que va en contacto con la mucosa, y sobre todo cuando se realizan caracterizaciones superficiales para lograr más naturalidad, ya que con el pulido mecánico se podría barrer con los detalles generando cambios en la misma.

Los resultados de este estudio muestran que el pulido químico contribuye a reducir el tiempo y esfuerzo del terminado de las prótesis en forma mecánica.

La utilización de las resinas de termocurado en horno de microondas desde la década del 80 posibilita también acortar tiempos en el procesado de una prótesis (Nissi 1968, Kimura 1983, Clerk 1987, Phillips 2004). Sin embargo, de acuerdo a los resultados de este trabajo de tesis, la realización del pulido químico en las resinas formuladas para curado en microondas genera cambios en la mayoría de sus propiedades mecánicas y microdureza.

Cabe destacar que hasta el día de la fecha no existen trabajos científicos publicados que evalúen las propiedades mecánicas de las resinas formuladas especialmente para termocurado en horno de microondas pulidas químicamente con monómero caliente. La

mayoría de los trabajos encontrados realizaron pulido químico en resinas de autocurado o también curado en agua pero estas últimas procesadas en microondas.

## **Deflexión**

Nuestros resultados muestran que las diferencias de deflexión entre los materiales analizados no resultaron estadísticamente significativas. Esto coincide con los estudios realizados por varios autores (Nishii1968, Kimura 1983, Phillips 2004) pero ellos sólo compararon la misma resina de curado en agua pero polimerizada en microondas a diferencia de nuestros estudios que compara las dos tipos de resinas de termocurado, clásico en agua y las formuladas especialmente para microondas.

El tipo de pulido químico fue un factor que significativamente disminuyó los valores de deflexión. Esto es coincidente con las experiencias de Gotusso (1969) y de Araujo (1972) quien reprodujo las mismas condiciones originales de la técnica.

## **Resistencia a la flexión y módulo elástico**

Esta prueba nos demostró correlación de la resistencia a la flexión con los valores de módulo elástico. Esto mismo afirma Lee H. y cols. (2012), que investigó la posibilidad de correlación de propiedades mecánicas en las resinas para base de dentaduras.

Las pruebas realizadas dejan en evidencia el efecto que el pulido químico clásico produce afectando las propiedades de módulo elástico y resistencia flexural.

Las diferencias de resistencia a la flexión y módulo elástico entre los materiales analizados, no resultaron estadísticamente significativas. El tipo de pulido sí fue un factor asociado significativamente a los valores de resistencia. El tipo de pulido químico parece influir en mayor grado en resinas de microondas que en acrílicos termo convencionales, afectando más el pulido químico clásico, aunque de acuerdo al resultado de ANOVA (interacción Material \* Pulido;  $p=0,055$ ), esta diferencia en la respuesta al pulido químico no llegó a ser significativa estadísticamente en las dos propiedades.

En coincidencia con el trabajo de Gotusso (1969), los valores de resistencia disminuyeron significativamente con el pulido químico.

Braun y Mello (2003) encontraron que las resinas termocuradas en agua y de autocurado pulidas químicamente, pero con el método modificado a la técnica original, no afectaban los valores de resistencia pero estos aumentaban sus valores con el almacenamiento en agua hasta en 32 días en el grupo de autocurado.

Esa investigación se realizó siguiendo las normas ADA, y coincide con este trabajo en el sentido que el acrílico de termocurado en agua es poco afectado por el pulido modificado después de estar almacenado en agua más de 48 hs. También hay coincidencia en que las muestras de acrílico con pulido mecánico presentan leve diferencia en valores comparados con las muestras con pulido químico.

La comparación de las cifras entre este trabajo y el de Braun (2003) son algo diferentes, los registros que aquí se presentan son menores, es decir da una media de 71,75 MPa contra 79,82 MPa expresados por Braun. Estimamos que esa diferencia puede deberse principalmente a que se trata de resinas de marcas distintas y al proceso de termocurado en agua que en el caso de nuestro fue más corto y esta variable puede reducir la resistencia (Gil Villagra 2000).

Mello y Braun (2003) experimentaron descensos en los valores de resistencia después del pulido químico modificado en resinas de autocurado, valores que no aumentaron después de realizar un ciclo corto de termocurado en agua y en microondas.

Orsi (2004) afirma que el pulido químico modificado sí altera significativamente la resistencia comparado con el pulido mecánico. Para demostrar esto utilizó 3 marcas de acrílico de curado en agua y realizó los ensayos en base a las normas ISO 1567 en donde las probetas tienen las mismas dimensiones, salvo el espesor que es algo más ancho, 3mm contra los 2,5 mm que indica las especificaciones de la ADA. De todos modos la fórmula aplicada para los cálculos de los valores, son iguales en las dos normas y contempla las variaciones de espesor registrados de las muestras, que a su vez influye en los valores de fuerza registrados, y lo hace de manera exponencial o cuadrática. Por esa razón podríamos decir que hay una cierta correlación entre las dos normativas.

Mesquita (1996) y Braun (2002) afirman que las sustancias residuales presentes en la masa del acrílico polimerizado disminuyen las propiedades físicas. El efecto negativo

del pulido químico clásico en estas propiedades físicas- mecánicas pensamos que estaría influenciado por el monómero residual que aumentaría con esta técnica de pulido. Los autores Nagen Filho (1972) Braun (2003) y Orsi (2004) en sus trabajos aseguran que el pulido químico, aumenta los niveles de monómero residual. Sin embargo Machado y cols. (2004) no encontraron diferencias significativas en la solubilidad cuando a las resinas se le realiza pulido mecánico y químico entre resinas de curado en agua.

Sería necesario un estudio que evalúe en cuánto puede aumentar el monómero residual con el pulido químico clásico.

### **Fuerza máxima**

Debido al alto porcentaje de probetas sin fracturar, consideramos el análisis de la fuerza máxima de los materiales en estudio.

La resina de termocurado en microondas con pulido químico modificado tuvieron los valores más altos.

Se observó un comportamiento similar entre fuerza máxima y resistencia.

### **Tenacidad**

Las pruebas de tenacidad demuestran también cierta correlación con las anteriores.

En acrílicos termo-convencionales, el pulido químico tuvo un efecto reductor en la tenacidad, particularmente el pulido químico modificado. En contraposición, el pulido químico le confirió mayor tenacidad a las resinas para microondas, en especial al utilizar pulido químico modificado. Este efecto de mejora en los valores de tenacidad en las resinas para microondas dada por el pulido químico modificado, también se evidenció en las variables módulo elástico, resistencia, fuerza máxima. Tal característica se debe al hecho que el pulido químico reduce la absorción acuosa como lo demostró Gotusso (1969), lo que trae como consecuencia menor efecto plastificante sobre el material en cuestión; pero al ser menor la exposición al efecto del monómero caliente, no se produce un reblandecimiento superficial tan notorio como en el pulido

químico clásico, no afectando así negativamente en las propiedades mecánicas del material.

El pulido químico clásico generó valores de tenacidad menores en el acrílico formulado para microondas pero estos valores están por encima de los que tiene la resina termocurable por agua con pulido químico modificado, particularidad que no se correlaciona en las otras propiedades anteriormente desarrolladas. Estas características podrían tener relación con otro hecho que llama la atención como fue el gran porcentaje de probetas no fracturadas durante los ensayos. Este fenómeno se manifestó con una tasa del 72,2 % de las probetas sometidas a pulido químico clásico, pero si discriminamos en tipo de material, se evidenció muy notoriamente en las probetas de resina de termocurado en microondas en un 90% con este tipo de pulido.

Al observar este alto porcentaje, se decidió no descartar esas pruebas y se consideró el valor máximo, y no el de ruptura, porque en muchos de los ensayos, no se produjo la falla, en donde el incremento de fuerza experimentado al final de la curva se debió al contacto de la probeta con la base del dispositivo.

Tomamos como ejemplo el trabajo de Gil Villagra (2001) en su análisis de las normas ISO 1567 en donde también tuvo dos casos de probetas de acrílico termocurado que no fracturaron en los ensayos de flexión, lo que se constató, registró y se analizó en su lugar la fuerza máxima que aceptaron. También este autor diferenció la fuerza máxima promedio de la fuerza de ruptura promedio en los casos en que la probeta no se hubiera partido.

Tal fenómeno quizás puede deberse, como explicamos anteriormente con respecto a la propiedad de resistencia, al monómero residual que debe aumentar evidentemente con el pulido químico clásico y significativamente en las resinas de curado en microondas. La capa de resina que se reblandece en la superficie, fenómeno que acontece con el pulido químico, en el acrílico formulado para curado en microondas debe ser en mayor profundidad alterando de este modo las propiedades de flexión como afirma Nunes de Mello y cols. (2003) y esto es más notorio, según nuestra opinión, en estas resinas porque estaría influenciada por los componentes químicos específicos agregados a estos acrílicos.

Desde el punto de vista clínico esto podría tomarse como una ventaja, y plantear como hipótesis el hecho que las prótesis confeccionadas en resina de termocurado en

microondas a las cuales se le realiza pulido químico clásico, tendrían pocas posibilidades de fractura. En verdad esto es una desventaja, ya que se produce una deformación plástica del aparato, es decir, llegado a cierto límite, el material pasa de la deformación elástica en donde una vez que cesó la fuerza recupera su forma original, a la deformación plástica en donde los cambios son irreversibles es decir no vuelve a su configuración inicial en forma parcial o totalmente.

Esto en una prótesis termina siendo muy perjudicial para el portador de la misma, ya que afectaría la función, estabilidad, y retención generando además zonas de extracompresión en la mucosa bucal con consecuentes irritaciones y lesiones en los tejidos blandos de la boca.

## **Dureza**

Como hemos mencionado anteriormente, las pruebas de microdureza no están contempladas dentro de las pruebas a realizar para el estudio de propiedades físicas de las resinas en las Especificaciones número 12 de la ADA ni en las ISO1567 del año 1997. A pesar de ello al igual que otros autores, consideramos de importancia saber hasta dónde se ven afectadas las resinas en su dureza superficial con el tratamiento de pulido químico.

Los mayores valores de dureza se registraron en las probetas con pulido mecánico, en los dos tipos de resinas siendo muy similares entre sí.

Independientemente del material utilizado, el tipo de pulido demostró ser un factor que influye significativamente sobre la dureza superficial del material.

Los valores de dureza (microdureza) registrados en probetas sometidas a pulido químico clásico, resultaron significativamente menores que el resto y en el otro extremo, la categoría de probetas del grupo control (sin pulido químico) registró valores de microdureza significativamente mayores que el resto. Las probetas tratadas con pulido químico modificado, registraron valores intermedios (pero más próximos al grupo control).

En el trabajo de Gotusso (1969) no se realizaron pruebas de microdureza, se realizó una prueba de resistencia a la abrasión ideada por él, encontrando diferencias significativas

entre probetas con pulido químico con menos resistencia a la abrasión comparada con las probetas pulidas en forma mecánica.

Araujo (1972) realizó pruebas de dureza Rockwell en resinas curadas en agua caliente con pulido químico clásico encontrando una disminución significativa de los valores en probetas con pulido químico en comparación a las que tenían pulido mecánico. Sin embargo este autor no aclara si las muestras de acrílico fueron almacenadas en agua destilada, y realizó pruebas a distintos tiempos, observando valores mayores de dureza a tiempos más largos en probetas con pulido químico, en cambio las muestras con pulido mecánico no tuvieron variaciones. Esta diferencia de valores tal vez se deba, según nuestra opinión, a una pérdida de monómero residual con el transcurso del tiempo. Con respecto al pulido químico modificado, observamos diferencias significativas comparadas a las probetas con pulido mecánico, las cuales presentaron valores superiores.

En el acrílico de termocurado en microondas los registros de dureza con el pulido químico modificado son menores respecto de las muestras de resina de termocurado en agua. Esto se debe tal vez a su formulación química (Bafile 1991).

Braun y cols. (2003) realizaron pruebas de dureza Knoop con probetas de acrílico de termocurado convencional, almacenadas en agua en 24, 48 hs y a los 8 y 32 días observando que las resinas con pulido mecánico presentan mayor dureza con respecto a las que se le realizó el pulido químico modificado. Estas diferencias fueron significativas.

Nunes de Mello y cols. (2003) realizó estudios de dureza Knoop pero en resinas de autocurado a las cuales le realizó pulido químico modificado encontrando valores inferiores comparado con el pulido mecánico. Estos valores, con diferencias significativas, cambiaron inversamente cuando a las muestras les aplicó un ciclo de polimerización adicional en agua a 65 °C durante 1 hora. Destaca también que la dureza superficial mejoró con el transcurso de los días pero no tanto en las muestras con pulido mecánico. Los autores atribuyeron el efecto a una mayor absorción acuosa en estas probetas con pulido mecánico lo cual hace disminuir los valores por el poder plastificante del agua, y por el contrario el pulido químico disminuye dicha absorción en las resinas pudiendo mejorar esta propiedad.

## CONCLUSIONES

Dentro de los resultados obtenidos en las condiciones descritas en este trabajo de Tesis Doctoral y de acuerdo a los objetivos propuestos, se evaluó el comportamiento de las resinas de termocurado en horno de microondas y de termocurado en agua sometidas a pulido químico y mecánico concluyendo lo siguiente:

- Entre los materiales analizados luego del pulido químico, las diferencias de módulo de elasticidad, resistencia a la flexión, fuerza máxima, tenacidad, deflexión y dureza no resultaron estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ).
- El pulido químico clásico fue un factor que alteró significativamente los valores de elasticidad, resistencia a la flexión, deflexión y dureza en cada resina, independientemente del material testado ( $p < 0,05$ )
- No se observó interacción significativa entre los factores material y pulido, esto significa que las alteraciones en las propiedades físicas mecánicas que provoca el tipo de pulido son semejantes en los dos materiales, aunque las variaciones registradas debido al pulido químico clásico fueron levemente mayores en las resinas de microondas.
- En contraposición el pulido químico modificado produjo leves mejoras en las resinas de microondas en los valores referidos a módulo de elasticidad, resistencia a la flexión, fuerza máxima, tenacidad y deflexión comparadas con el pulido mecánico y las resinas de termocurado en agua, pero empeoró significativamente los valores de dureza sobre todo en comparación con el acrílico termo convencional.

- Con respecto al pulido mecánico, la resina de termocurado en agua presenta valores levemente mayores en las propiedades de módulo elástico, resistencia a la flexión, tenacidad, y fuerza máxima no así en deflexión y dureza con leve ventaja de la resina formulada para microondas.
- Como conclusión final es importante destacar que el acrílico de termocurado en horno de microondas es más afectado en sus propiedades físicas de elasticidad, resistencia a la flexión, deflexión y dureza con el pulido químico clásico en comparación con las resinas de termocurado con agua. Vale aclarar, esto se dio experimentando con una única marca comercial de resina utilizada en esta investigación.

## Consideraciones finales

Se encontraron diferencias en el comportamiento de la resina formulada para curado en microondas con pulido mecánico comparado con los trabajos de distintos autores.

En las pruebas de resistencia a la flexión, módulo elástico, fuerza máxima y tenacidad las resinas de termocurado en agua presentaron valores levemente mejores con respecto a las de termocurado en microondas a diferencia de los trabajos de Ibay (1994), Gil Villagra (2000) y Banerjee (2010) que sostienen lo contrario. Solamente presentan mejores resultados, pero no significativos en las pruebas de dureza como también afirma Ibay(1994), y en deflexión.

Es más que evidente que el pulido químico clásico modifica en forma significativa las propiedades de las resinas, pero de acuerdo a los resultados observados en este trabajo de Tesis Doctoral, son más afectadas las de termocurado en microondas. Por lo tanto, puede afirmarse que el pulido químico modificado, junto con el mecánico son los recomendables para este tipo de resina.

Además, al aplicar este método de pulido con la resina para termocurado en microondas, sería aconsejable dejar la prótesis almacenada en agua por lo menos unas 24 hs para disminuir el monómero residual, ya que el metacrilato no polimeriza dado la ausencia de radicales libres y es eliminado por difusión en el agua ,tomando como referencia lo que afirma Lamb (1982), Gotusso (1969), Sheridan (1997) y Nunes de Mello (2003 ) o si fuera posible 96 hs como mínimo en base al trabajo de Braun (2003), para mejorar además los valores mecánicos de la resina y también disminuir la citotoxicidad.

Nunes de Mello (2003) afirma además que realizar un ciclo adicional de polimerización en agua a 65 °C durante 1 hora reduce el monómero residual y mejora los valores de microdureza después de realizar un pulido químico.

Dentro de los usos de este material, estaría indicado además para realizar reparaciones de prótesis, que generalmente se realizan con acrílico autopolimerizable el cual posee menor resistencia a la fractura.

También sería ideal para realizar rebasados indirectos y de este modo disminuir el tiempo de trabajo y mejorar la terminación del mismo al no utilizar resina autocurable, obteniendo así mejor resistencia y menor posibilidad de irritaciones causadas por el monómero residual, desventajas conocidas del acrílico de curado químico.

## Propuestas

Estudios posteriores podrían evaluar:

- Los niveles de monómero residuales y absorción acuosa en las resinas de termocurado en microondas con pulido químico.
- Si el almacenado en agua durante varios días puede mejorar las propiedades mecánicas posterior al pulido químico y evaluar dichas propiedades y sus posibles variaciones comparando 2 a 3 marcas comerciales distintas de resinas formuladas especialmente para curado en microondas.
- La rugosidad superficial que produce cada tipo de pulido y analizarla en un rugosómetro.

## BIBLIOGRAFÍA

-American Dental Association 1975. Council on dental materials and devices. Specification N° 12 for denture base polymers, Journal of American Dental Association. 90,451-458.

-Araujo, PA, Abreu D y Magalhaes AEO. 1972 .Propiedades das resinas acrílicas para bases de dentaduras, submetidas a polimento químico. Estomatología e cultura, 6, 40-42

-Azevedo A,Machado A,Vergani C,Giampaolo E,Pavarina A. 2005 .Hardness of denture base and hard chair-side relined acrylic resins . JAppl Oral Sci; 13 (3):291-5.

- Bafile M., Grase GN. 1991. August. Porosity of denture resin cured by microwave energy. J.Prosthet Dent 66 (2) 269-74.

-Banerjee R., Banerjee S., Prabhudesar Ps. 2010. Influence of the processing technique on the flexural strength of base denture resins. Indian Journal of Dental Research .vol.21 issue; 3 pag.391-395 ([pub med](#))

-Bindo MJF, Moleros Nakamae AE, SantosL, Hitomi Ishikawa K, Guarnieri TC,Tamaki R Mar 2009.Study of the surface hardness and modulus of elasticity of conventional and microwave-cured acrylic resins. Bras Oral Res., vol.23, no.1, p.68-75.

-Bollen CML,Lambrechts P,Quirynen M. 1997.Comparison of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention . A review of the literature. Dent. Mat; 13:258-269.

-Braun kO,Mello JAN, Rached RN, e Del Bel Cury AA. 2003. Surface texture and some properties of acrylic resins submitted to chemical polishing. J. Oral Rehab. 30; 91-98.

- Nishii M .1968. Studies on the curing of de denture base resins whit microwave irradiation whit particular reference to heat –curing resins. J.Osaka Dent Univ; 2:23-40.
- De Clerk J.P. 1987. Microwave polymerization of acrylic resins used in dental prosthese. Dental Technology vol.57, 650-658.
- Dixon DL,Ekstrand KG, Breending LC. 1991. The transverse strengths of three denture base resin. J. Prosth. Dent, 66,510.
- Farina A.,Cecchin D.,Goncalves Soares R., Botelho A., KoyamaTakahashi M.,Mazzetto M., Mesquita M.,2012.Evaluati6n of Vicker hardness of different types of acrylic denture base resins with and withot glass fibre reinforcement. The Gerontology Society and John Wiley and Sons A/S .
- Gil Villagra L, J., Mart3nez Ramos J.M.,S3nchez S3nchez T.2000 “ An3lisis de las propiedades fisicomec3nicas de los pl3sticos utilizados como bases prot3ticas en funci6n de la normativa ISO 1567:primera parte : Dureza. Revista Internacional de Pr6tesis Estomatol6gica. Vol 2.n 2,117-126
- Gil Villagra L, J., Mart3nez Ramos J.M.,S3nchez S3nchez T.2001 “ An3lisis de las propiedades fisicomec3nicas de los pl3sticos utilizados como bases prot3ticas en funci6n de la normativa ISO 1567:segunda parte :deflexi6n trasversal ,tensi6n Flexural y m6dulo de elasticidad. Revista Internacional de Pr6tesis Estomatol6gica. Vol 3.n 4,117-126
- Gotusso, Mario, 1969.Tratamiento qu3mico superficial de las resinas acr3licas. Tesis doctoral. Biblioteca Facultad de Odontolog3a UNC.
- Gotusso M, Platini TL,Berdicevsky N. 1991. Instalaci6n de la pr6tesis completa terminada en: Prostodoncia Total tomo 2.Facultad de Odontolog3a, Universidad Nacional de C3rdoba pag341-344.
- Ilbay SG,Guvener S,and Alkumru HN,1994.Processing dentures using a microwave technique .J. Oral Rehab, vol.21.103-109.

- Kasina SP,Ajaz T,Attili S,Surapaneni H,cherukuri M,Srinath HP. 2014 To evaluate and compare the porosities in the acrylic mandibular denture bases processed by two different polymerization techniques , using two different brands of commercially available denture base resins –an in vitro study. J Int Oral Health Feb 6(1): 72-7.
- Kimura H,Teraoka F,Salto T , Yaton M. 1983 .Applications of microwave for dental technique (part 1):dough-forming and curing of acrylic resins. J Osaka Univ Dent Sch;23;43-9.
- Kimura H, Teraoka F, Salto T. 1984. Applications of microwave for dental technique (part 2): Adaptability of cured acrylic resins. J Osaka Univ Dent Sch; 23; 43-9.
- Lamb DJ, Ellis B, Priestley D. 1982 Loss in the water of residual monomers from autopolymerizing dental acrylic resin. Biomaterials; 3:155-9.
- Lee,H, Lee C, Asaoka K.,2012.Correlation in the mechanical properties of acrylic denture base resins. Dent Mat Journal; 31 (1) : 157-164
- Lira A, Consani R, Mesquita M, Bolsan De Paula A.2014. Surface hardness of acrylic resins exposed to toothbrushing, chemical disinfection and thermocycling ”.Journal of Research and practice in Dentistry .Http// [www.ibimapublishing.com/journals/DENT/dent.html](http://www.ibimapublishing.com/journals/DENT/dent.html) Vol.2014 ,Article ID 466073,9 pages DOI: 10.5171/2014.466073
- Macci RL. Prótesis removible en: Materiales Dentales Médica Panamericana,Buenos Aires 2007.p 343-348.
- Machado C, Rizzatti BarbosaC, Gabriotti M, Joia F, Ribeiro M, Sousa R. 2004.Influence of mechanical and chemical polishing in the solubility of acrylic resins polymerized by microwave irradiation and conventional water bath. Dent Mat.20,565-569.

-Memon M., Yunus N., Razak A., 2001 Some mechanical properties of a highly cross-linked, microwave-polymerized, injection-molded denture base polymer . The International Journal of Prosthodontics. Vol.14.number3, 214-218.

-Mello JNN, Braun KO, Rachet RNR, Del Bel Cury AA. 2003. Reducing the negative effects of chemical polishing in acrylic resins by use of an additional cycle of polymerization. J. Prosthet. Dent. 89; 598-602.

-Mesquita MF, Domitti SS, Consani S, Cardoso LAM, Sobrinho LC. 1996 . Effect of chemical polishing on superficial hardness of acrylic resins. Rev. Paul. Odontol. ; 18(3):22-7.

-Milanesi Alves PV, Lima Filho RMA, Telles E, Bolognese A. 2006. Surface Roughness of Acrylic Resins after Different Curing and Polishing Techniques. The online Angle Orthodontist. [www.angle.org/anglonline](http://www.angle.org/anglonline).

-Nagem Filho H, Chiodi Netto J, Araujo Paulo 1973 Biocompatibility of acrylic resins implants in connective tissue . Estomatolol Cult; 7 (20 ;120-3.

-Orsi IA, Gomes Andrade V, 2004 .Effect of chemical disinfectants on the transverse strength of heat-polymerized acrylic resins submitted to mechanical and chemical polishing. J Prosthet. Dent, vol 92;4,382-88.

-Pereyra Camacho D, Svidzinski T., Furlaneto M., Marzo 2014. Resinas acrílicas de uso odontológico á base de polimetacrilato. Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research. Vol .6, n.3, pp.63-72

- Philipps .Química de las resinas sintéticas: materiales para restauración indirecta y prótesis en... La ciencia de los materiales dentales .Elsevier España 2004. p219-276. 720-755

-Rahal JS, Mezquita MF, Henriques GE, Nóbilo MA. 2004. Influence of chemical and mechanical polishing on water sorption and solubility of denture base acrylic resins. Braz.Dent.J15 (3)225-230.

- Rahal JS, Mesquita MF, Henriques GEP, Nóbilo MAA.2004. Surface roughness of acrylic resins submitted to mechanical and chemical polishing. *J.Oral Rehab.*31;1075-1079.
- Rajashree Jadhav, Bhide SV., Prabladesai PS. 2013 .Assessment of the impact strength of the denture base resin polymerized by various processing techniques . 2013. *Indian Journal of dental Research.* Vol.24Issue1.pag; 19-25. ([Pub med](#))
- Reitz PV, Sanders JL, Levin B .The curing of denture acrylic resins by microwave energy: physical properties. *Quint Int* 1985; 8:547-51.
- Sadamori S,Kotani H,Hamada T.1992.The usage period of denture and their residual monomer content.*J.Prosthet Dent* 68(2); 374-6.
- Sanders JL, Levin B ,Reitz PV 1991.Comparison of the adaptation of acrylic resin cured by microwave energy and conventional water bath.*Quintessence International*;22:181-185.
- Serrano Hernández L., Barceló Santana FH., Santos Espinoza A. Julio2013.Deflexión transversa de materiales alternativos a base de polímeros para la fabricación de base de dentadura.*Revista Odontológica Mexicana.* Vol.17 Núm.3. 146-151.
- Solórzano Lemus F,Venegas Lancón R,Moreno Maldonado V, López Morales S. junio 2010 .Determinación de monómero residual de metacrilato de metilo en 3 diferentes marcas comerciales para base de dentaduras por cromatografía de gases . *Revista Odontológica Mexicana* vol.14, num.2 pp91-98.
- Sheridan P.,Sreenivas K.,Nels O.,1997 .Citotoxicity of Denture Base Resins .*The International Journal of Prosthodontics.*10.num.173-77.
- Sunint Singh, Jayant Palaskar, Sanjeev Mittal. Apr-Jun 2013.Comparative evaluation of surface porosities in conventional heat polymerized acrylic resin cured by water bath

and microwave energy with microwavable acrylic resin cured by microwave energy.  
Contemp Clin Dent ([Pubmed](#))

-Tuna EB,Rohliq BG,Sancakli E,Eviloglu G,Gercay K. 2013 .Influence of acrylic resin polymerization methods on residual monomer release . J Contemp Dent Pract Mar 1;14(20): 259-64.

- Yannikakis S .,Zissis A. ,Polyzois.,Andreopoulos A.,2002 .Evaluation of porosity in microwave-processed acrylic resin using a photographic method. J. Prosthet Dent; 87: 613-9