



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS MÉDICAS,  
ODONTOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA  
BIOMATERIALES DENTALES

“GRADO DE CONVERSIÓN DE RESINAS PREPARADAS CON  
TRIMETILOLPROPANO TRIMETACRILATO:  
INFLUENCIA DE DIFERENTES FOTOINICIADORES”

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO  
DE **MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**CRISTIAN PIERRE GÁMEZ LÓPEZ**

TUTOR  
DR. CARLOS ANDRÉS ALVAREZ GAYOSSO  
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos**

Por el apoyo financiero para la realización de ésta Tesis al  
Proyecto UNAM-PAPIIT-IT201612,  
y al  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

## **Dedicatoria**

Con todo mi amor y cariño:

A Dios

A mi familia

A mi tutor

A mis profesores

A la Universidad

A mis amigos

Esta hoja, y muchas más, serían insuficientes para escribir lo enormemente agradecido que estoy. De esta manera englobo a quienes dedico esta tesis.

# Índice General

Índice de figuras. ....	VI
Índice de tablas. ....	VII
Índice de gráficas. ....	VIII
Abreviaturas. ....	X
Resumen. ....	XI
Abstract. ....	XII
Introducción. ....	XIII
1. Antecedentes.....	1
Resina compuesta. ....	1
Monómeros. ....	4
Reacción de polimerización. ....	7
Fotoiniciadores. ....	8
Acelerador. ....	11
Dispositivos de fotoactivado. ....	12
Grado de conversión. ....	13
Métodos para la obtención del grado de conversión. ....	14
2. Metodología.....	16
Planteamiento del problema. ....	16
Justificación. ....	17
Objetivos. ....	18
Hipótesis. ....	19
Tipo de estudio. ....	20
Población de estudio. ....	20
Grupo control. ....	20
Variables. ....	20
Recursos. ....	23
3. Materiales y Métodos.....	24
Preparación de mezclas. ....	24
a) Reactivos. ....	24
b) Instrumental y equipos. ....	24
c) Composición de las resinas experimentales. ....	24
d) Diseño experimental. ....	25
e) Procedimiento. ....	26
Lámpara de fotoactivado. ....	27
a) Características. ....	27
b) Irradiancia. ....	28

c) Determinación de la longitud de onda emitida por la lámpara. ....	28
Espectros de absorción de los fotoiniciadores. ....	29
Determinación del porcentaje de grado de conversión por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier y accesorio de reflectancia total atenuada. ....	29
a) Material y equipos. ....	29
b) Identificación previa de las bandas en los monómeros. ....	30
c) Procedimiento. ....	30
d) Fórmula para la obtención del porcentaje de grado de grado de conversión. ....	32
Determinación de la dureza con método Vickers. ....	33
a) Material y equipos. ....	33
b) Procedimiento. ....	34
c) Fórmula para la obtención de la dureza Vickers. ....	35
Determinación de las propiedades de flexión. ....	36
a) Material y equipos. ....	36
b) Procedimiento. ....	37
c) Fórmulas para la obtención de la resistencia a la flexión y módulo elástico a la flexión. ....	38
Determinación del encogimiento por polimerización y de la rapidez de polimerización. ....	39
a) Materiales y equipos. ....	39
b) Procedimiento. ....	40
c) Fórmulas para la obtención del porcentaje de encogimiento y de la rapidez de polimerización. ....	42
4. Descripción y análisis de resultados. ....	43
Irradiancia de la lámpara de fotoactivado. ....	43
Longitud de onda emitida por la lámpara. ....	43
Espectros de absorción de los fotoiniciadores. ....	44
Identificación de las bandas del TMPTMA en el espectro de FTIR-ATR. ....	45
Identificación de las bandas del UDMA en el espectro de FTIR-ATR. ....	47
Grado de conversión calculado a través de espectroscopia FTIR-ATR. ....	50
Dureza Vickers. ....	56
Resistencia a la flexión. ....	62
Módulo elástico a la flexión. ....	68
Encogimiento por polimerización. ....	74
Rapidez de polimerización. ....	80
5. Discusión. ....	88

6. Conclusiones.....	105
7. Referencias bibliográficas.....	106
8. Apéndices. ....	111
1. Dimetacrilato de uretano. Hoja de seguridad. ....	111
2. Trimetilolpropano trimetacrilato. Hoja de seguridad. ....	114
3. Camforoquinona-R. Hoja de seguridad. ....	118
4. Camforoquinona-S. Hoja de seguridad. ....	121
5. Fenilpropanodiona. Hoja de seguridad. ....	124
6. Dimetil p-toloudina. Hoja de seguridad. ....	128
9. Presentación en eventos académicos.....	132

## Índice de Figuras

Figura 1. Evolución de la resina compuesta .....	2
Figura 2. Estructura del Bisfenol A glicidil metacrilato .....	4
Figura 3. Estructura del Trietilenglicol dimetacrilato .....	5
Figura 4. Estructura del Dimetacrilato de uretano.....	6
Figura 5. Estructura del Trimetilolpropano trimetacrilato .....	7
Figura 6. Estructura de la Camforoquinona .....	9
Figura 7. Enantiómeros de la Camforoquinona .....	10
Figura 8. Estructura del Fenilpropanodiona .....	11
Figura 9. Estructura del N,N-Dimetil-p-toluidina .....	12
Figura 10. Lámpara de fotoactivado Bluephase® C8 G2, mostrando las características para la emisión de la luz .....	27
Figura 11. Fotografías de LED's presentes en la lámpara Bluephase® C8 G2.....	27
Figura 12. Radiometro de curado L.E.D. Radiometer, mod. 100 optilux, Demetron Research Corporation, CT, EUA .....	28
Figura 13. Espectrofotómetro utilizado para la detección de la longitud de onda de la lámpara de fotoactivado.....	29
Figura 14. Espectrofotómetro FTIR-ATR. ....	30
Figura 15. Ventana del espectrofotómetro FTIR-ATR. ....	31
Figura 16. Destape de la gota de material después de haber obtenido el espectro. ....	31
Figura 17. Espectro en absorción a 1715 y 1637 $\text{cm}^{-1}$ correspondiente a las bandas C=O y C=C respectivamente. ....	32
Figura 18. Durómetro Matsuzawa® MHT2®. ....	33
Figura 19. Molde de acero inoxidable preparado para la realización de muestras. ....	34
Figura 20. Resinas colocada en el molde y fotopolimerizada. ....	34
Figura 21. Colocación de la muestra en el durómetro. ....	35
Figura 22. Máquina Universal de Pruebas Mecánicas INSTRON®. ....	36
Figura 23. Muestra de resina compuesta que sirvió de modelo. ....	37
Figura 24. Aditamentos para realizar la prueba de flexión de 3 puntos. ....	37
Figura 25. Instrumento de medición de contracción por polimerización. ....	39
Figura 26. Molde de silicona para la prueba de contracción. ....	40
Figura 27. Fotoactivación de la resina experimental en la prueba de contracción por polimerización. ....	41
Figura 29. Espectro infrarrojo del monómero TMPTMA. ....	45
Figura 29. Región 3000 $\text{cm}^{-1}$ a 2500 $\text{cm}^{-1}$ del espectro del TMPTMA. ....	45
Figura 30. Región 1750 $\text{cm}^{-1}$ a 1600 $\text{cm}^{-1}$ del espectro del TMPTMA. ....	46
Figura 31. Región 1500 $\text{cm}^{-1}$ a 1250 $\text{cm}^{-1}$ del espectro del TMPTMA. ....	46
Figura 32. Región 1200 $\text{cm}^{-1}$ a 850 $\text{cm}^{-1}$ del espectro del TMPTMA. ....	47
Figura 33. Espectro infrarrojo del monómero UDMA. ....	47
Figura 34. Región 3400 $\text{cm}^{-1}$ a 2800 $\text{cm}^{-1}$ del espectro del UDMA. ....	48
Figura 35. Región 1850 $\text{cm}^{-1}$ a 1600 $\text{cm}^{-1}$ del espectro del UDMA. ....	48
Figura 36. Región 1600 $\text{cm}^{-1}$ a 1200 $\text{cm}^{-1}$ del espectro del UDMA. ....	49
Figura 37. Región 1200 $\text{cm}^{-1}$ a 600 $\text{cm}^{-1}$ del espectro del UDMA. ....	49
Figura 38. Huella observada en la muestra de resina posterior a la carga. ....	56
Figura 39. Formación de radicales libres. ....	91

## Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades de los monómeros de mayor uso en la elaboración de resinas compuestas. ....	7
Tabla 2. Reactivos empleados en la formulación de las diferentes mezclas de resinas experimentales. ....	24
Tabla 3. Instrumental y equipos empleados en la formulación de las diferentes mezclas de resinas experimentales. ....	24
Tabla 4. Composición de las resinas experimentales. ....	24
Tabla 5. Diseño experimental. Porcentajes de peso en la mezcla. ....	25
Tabla 6. Irradiancia y densidad de energía de la lámpara Bluephase® C8 G2. ....	43
Tabla 7. Región 3000 cm <sup>-1</sup> a 2500 cm <sup>-1</sup> del espectro del TMPTMA. ....	45
Tabla 8. Región 1750 cm <sup>-1</sup> a 1600 cm <sup>-1</sup> del espectro del TMPTMA. ....	46
Tabla 9. Región 1500 cm <sup>-1</sup> a 1250 cm <sup>-1</sup> del espectro del TMPTMA. ....	46
Tabla 10. Región 1200 cm <sup>-1</sup> a 850 cm <sup>-1</sup> del espectro del TMPTMA. ....	47
Tabla 11. Región 3400 cm <sup>-1</sup> a 2800 cm <sup>-1</sup> del espectro del UDMA. ....	48
Tabla 12. Región 1850 cm <sup>-1</sup> a 1600 cm <sup>-1</sup> del espectro del UDMA. ....	48
Tabla 13. Región 1550 cm <sup>-1</sup> a 1200 cm <sup>-1</sup> del espectro del UDMA. ....	49
Tabla 14. Región 1200 cm <sup>-1</sup> a 800 cm <sup>-1</sup> del espectro del UDMA. ....	49
Tabla 15. Resultados del porcentaje (%) de grado de conversión en resinas con TMPTMA. ....	50
Tabla 16. Resultados del porcentaje (%) de grado de conversión en resinas con UDMA. ....	53
Tabla 17. Resultados de dureza Vickers (HV) en resinas con TMPTMA. ....	56
Tabla 18. Resultados de dureza Vickers (HV) en resinas con UDMA. ....	59
Tabla 19. Resultados de la resistencia a la flexión (MPa) en resinas con TMPTMA. ....	62
Tabla 20. Resultados de la resistencia a la flexión (MPa) en resinas con UDMA. ....	65
Tabla 21. Resultado del módulo elástico a la flexión (GPa) en resinas con TMPTMA. ....	68
Tabla 22. Resultado del módulo elástico a la flexión (GPa) en resinas con UDMA. ....	70
Tabla 23. Resultado de encogimiento por polimerización (%) en resinas con TMPTMA. ....	74
Tabla 24. Resultado de encogimiento por polimerización (%) en resinas con UDMA. ....	76
Tabla 25. Resultado de la rapidez de polimerización (µm/min) en resinas con TMPTMA. ....	80
Tabla 26. Resultado de la rapidez de polimerización (µm/min) en resinas con UDMA. ....	82

## Índice de Gráficas

Gráfica 1. Ejemplo de una gráfica de fuerza-deflexión de las resinas experimentales. ....	38
Gráfica 2. Espectro de absorción emitido por la lámpara Bluephase C8 G2 en modo continuo alta. ....	43
Gráfica 3. Espectro de absorción de los enantiómeros de la Camforoquinona. ....	44
Gráfica 4. Espectro de absorción de la Fenilpropanodiona. ....	44
Gráfica 5. Grado de conversión de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	51
Gráfica 6. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el grado de conversión de las resinas preparadas con TMPTMA. ....	52
Gráfica 7. Grado de conversión de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	54
Gráfica 8. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el grado de conversión de las resinas preparadas con UDMA. ....	55
Gráfica 9. Grado de conversión de las resinas preparadas con TMPTMA y UDMA. ....	55
Gráfica 10. Dureza Vickers de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	57
Gráfica 11. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el grado de conversión de las resinas preparadas con TMPTMA. ....	58
Gráfica 12. Dureza Vickers de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	59
Gráfica 13. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el grado de conversión de las resinas preparadas con UDMA. ....	60
Gráfica 14. Grado de conversión vs Dureza en las resinas experimentales. ....	61
Gráfica 15. Resistencia a la flexión de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	63
Gráfica 16. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con la resistencia a la flexión de las resinas preparadas con TMPTMA. ....	64
Gráfica 17. Resistencia a la flexión de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	65
Gráfica 18. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con la resistencia a la flexión de las resinas preparadas con UDMA. ....	66
Gráfica 19. Grado de conversión vs Resistencia a la flexión en las resinas experimentales. ....	66
Gráfica 20. Resistencia a la flexión vs Dureza en las resinas experimentales. ....	67
Gráfica 21. Módulo elástico a la flexión de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	69
Gráfica 22. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con módulo elástico a la flexión de las resinas preparadas con TMPTMA. ....	69
Gráfica 23. Módulo elástico a la flexión de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	70
Gráfica 24. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con módulo elástico a la flexión de las resinas preparadas con UDMA. ....	71
Gráfica 25. Grado de conversión vs Módulo elástico a la flexión en las resinas experimentales. ....	72
Gráfica 26. Módulo elástico a la flexión vs Dureza en las resinas experimentales. ....	73
Gráfica 27. Módulo elástico a la flexión vs Resistencia a la flexión en las resinas experimentales. ....	73
Gráfica 28. Encogimiento por polimerización de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	75
Gráfica 29. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador	

con el porcentaje de encogimiento por polimerización de las resinas preparadas con TMPTMA. ....	76
Gráfica 30. Encogimiento por polimerización de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	77
Gráfica 31. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el porcentaje de encogimiento por polimerización de las resinas preparadas con UDMA. ....	78
Gráfica 32. Grado de conversión vs Encogimiento por polimerización en las resinas experimentales. ....	78
Gráfica 33. Encogimiento por polimerización vs Dureza en las resinas experimentales. ....	79
Gráfica 34. Encogimiento por polimerización vs Resistencia a la flexión en las resinas experimentales. ....	79
Gráfica 35. Encogimiento por polimerización vs Módulo elástico a la flexión en las resinas experimentales. ....	79
Gráfica 36. Rapidez de polimerización de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	81
Gráfica 37. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con rapidez de polimerización de las resinas preparadas con TMPTMA. ....	82
Gráfica 38. Rapidez de polimerización de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. ....	83
Gráfica 39. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con rapidez de polimerización de las resinas preparadas con UDMA. ....	84
Gráfica 40. Grado de conversión vs Rapidez de polimerización en las resinas experimentales. ....	84
Gráfica 41. Rapidez de polimerización vs Dureza en las resinas experimentales. ....	85
Gráfica 42. Rapidez de polimerización vs Resistencia a la flexión en las resinas experimentales. ....	85
Gráfica 43. Rapidez de polimerización vs Módulo elástico a la flexión en las resinas experimentales. ....	86
Gráfica 44. Rapidez de polimerización vs Encogimiento por polimerización en las resinas experimentales. ....	87
Gráfica 45. Espectro emitido por la lámpara y los espectros de absorción de las Camforoquinonas. ....	94
Gráfica 45. Espectro emitido por la lámpara y los espectros de absorción de la Fenilpropanodiona. ....	94

## Abreviaturas

PMMA: Polimetilmetacrilato.

BisGMA: Bisfenol A glicidil metacrilato.

TEGDMA: Trietilenglicol dimetacrilato.

UDMA: Dimetacrilato de uretano.

TMPTMA: Trimetilolpropano trimetacrilato; 1,1,1-Trimetyloolpropane trimethacrylate; 2,2-bis(methacryloxymethyl) butyl methacrylate.

CQR: Camforoquinona–R.

CQS: Camforoquinona–S.

PPD: Fenilpropanodiona.

DMPT: Dimetil p-toluidina.

C=C: Doble enlace carbono-carbono.

FTIR-ATR: Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier con accesorio de reflectancia total atenuada.

HV: Número de dureza Vickers.

LED: Diodo emisor de luz.

MSDS: Hoja de seguridad del reactivo.

IF: Instituto de Física.

IIM: Instituto de Investigaciones en Materiales.

N: Newtons.

MPa: Megapascal.

GPa: Gigapascal.

DE: Desviación estándar.

## Resumen

La investigación de resinas compuestas para restauración en odontología se está enfocando en encontrar monómeros con un alto grado de conversión, pero tratando de conseguir disminuir las desventajas que trae consigo la reacción de polimerización. Además de buscar alternativas en los diferentes tipos de fotoiniciadores. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de la Camforoquinona – R y S, y de la Fenilpropanodiona en el grado de conversión de resinas preparadas con Trimetilolpropano trimetacrilato (TMPTMA) y otras con Dimetacrilato de uretano (UDMA). Para ello, se prepararon mezclas de resina con diferentes concentraciones de Camforoquinona-R (CQR), Camforoquinona-S (CQS) y Fenilpropanodiona (PPD). Se calculó el porcentaje de grado conversión con espectroscopia FTIR-ATR, al igual se obtuvo su dureza Vickers, resistencia a la flexión, módulo elástico a la flexión, su porcentaje de encogimiento y la rapidez de polimerización de dichas resinas. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el uso de los fotoiniciadores en ambos monómeros. A mayor concentración del fotoiniciador, independientemente del tipo, mayores los valores en las propiedades estudiadas, excepto en UDMA en la resistencia a la flexión. El porcentaje de grado de conversión en las resinas preparadas con TMPTMA fue baja comparada con UDMA, pero este valor no fue determinante en las propiedades de dureza superficial, porcentaje de encogimiento y modulo elástico a la flexión. Solo se observaron diferencias muy marcadas en la resistencia a la flexión, y en la rapidez de polimerización entre ambos monómeros independientemente del fotoiniciador usado.

**Palabras clave:** *TMPTMA, UDMA, Fotoiniciador, Camforoquinona–R, Camforoquinona–S, Fenilpropanodiona, Grado de conversión, Dureza Vickers, Encogimiento por polimerización, Rapidez de polimerización, Módulo elástico, Resistencia a la flexión.*

## Abstract

Composite resins researches for dental restoration are studying new monomers and photoinitiators. These monomers have high conversion to reduce the contraction, residual monomer to mention some. Conversion degree of trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTMA) and urethane dimethacrylate (UDMA) resins were studied. Phenylpropanedione and camphoroquinones R and S were used. Resins with different camphoroquinone-R (CQR), camphoroquinone-S (CQS) and phenylpropanedione (PPD) concentrations were prepared. Conversion degree using FTIR-ATR spectroscopy, Vickers hardness, strength and elastic modulus flexural, percentage shrinkage and polymerization rate were calculated. Statistically significant differences between photoinitiators in both monomers were not found. Regardless of photoinitiator, at higher concentration, higher property. The flexural strength UDMA was different. Conversion degree in the resins prepared with TMPTMA was lower in comparison with UDMA. Low conversion degree did not influence in hardness, shrinkage percentage and flexural elastic modulus. UDMA showed higher flexural strength and polymerization rate independently of photoinitiator.

**Keywords:** *TMPTMA, UDMA, Photoinitiator, R-Camphoroquinone, S-Camphoroquinone, Phenilpropanodione, Degree of conversion, Vickers hardness, Polimerization shrinkage, Rate of polymerization, Elastic module, Flexural strength.*

## Introducción

Las resinas compuestas son utilizadas ampliamente en materiales para uso odontológico. Se han usado monómeros de alta viscosidad, pero su manejo como único componente para la elaboración de resinas compuestas es difícil, por ello se usan mezclas con monómeros de baja viscosidad, lo que con lleva a un alto encogimiento por polimerización de 1 a 3 %, también pueden quedar atrapados monómeros sin polimerizar, que al liberarse de la resina compuesta pueden causar efectos citotóxicos en los tejidos blandos.

El grado de conversión en las resinas hace referencia a cuánto porcentaje de monómero se ha convertido en polímero, dependiendo de varios factores como pueden ser el tipo de monómero y el fotoiniciador. Cuanto mayor sea la conversión de los dobles enlaces carbono-carbono en enlaces sencillos formando el polímero, mayores propiedades mecánicas y mejor desempeño clínico tendrán.

Desde esta perspectiva, en la presente investigación se buscó una alternativa de monómero, se eligió uno flexible, de menor peso molecular que el Bis-GMA y con la capacidad de formar redes poliméricas entrecruzadas por sí mismo al poseer tres terminaciones metacrilato. Se determinó la influencia de diferentes fotoiniciadores (Camforoquinona - R y S, y Fenilpropanodiona) en el grado de conversión de resinas de Trimetilolpropano trimetacrilato y se comparó con la resina de Dimetacrilato de uretano ya que ha sido utilizada como monómero principal en resinas compuestas dentales comerciales.

El grado de conversión fue monitoreado por la desaparición de la señal de la doble ligadura por Espectroscopia Infrarroja, así mismo se obtuvo la Dureza Vickers, se calculó la resistencia a la flexión y módulo elástico a la flexión, así como su porcentaje de encogimiento debido a la polimerización, y su rapidez de polimerización de las resinas experimentales.

## 1. Antecedentes

El progreso de la odontología en los últimos años es un hecho innegable. En cuanto a los materiales para restauración, estos se han enfocado a aquellos que además de tener propiedades físicas y mecánicas aceptables para su uso clínico, también van acompañados de propiedades ópticas parecidas al órgano dentario a restaurar, de alguna manera, que sean estéticos.<sup>1</sup>

La búsqueda de materiales para restauración va acompañada de una serie de eventos específicos, como es su formulación, sus propiedades y las consideraciones clínicas.<sup>2</sup>

Dentro de la amplia gama de materiales con la que cuenta el clínico están aquellos a base de polímeros.<sup>3,4</sup> La polimerización de estos materiales produce redes entrecruzadas compactas, que da lugar a una amplia aplicación en odontología como son materiales restaurativos<sup>5</sup>, protectores cavitarios<sup>6</sup>, selladores de fosetas y fisuras<sup>7</sup>, conformadores de muñones<sup>8</sup>, restauradores provisionales<sup>9</sup>, agentes y cementos de unión dentinario para prótesis<sup>10</sup>, dispositivos ortodóncicos<sup>11</sup>, selladores endodónticos<sup>12</sup>, postes intrarradiculares<sup>13</sup> y adhesivos dentales.<sup>14</sup>

### **RESINA COMPUESTA**

La introducción de materiales restaurativos dentales con resina compuesta se da a la mitad del siglo pasado, 1960, los cuales fueron una revolución en odontología. Las resinas compuestas son agradables desde el punto de vista estético dado que poseen la apariencia óptica de las diferentes capas del órgano dentario (esmalte/dentina). Son relativamente fáciles de manejar y polimerizables con un dispositivo de luz ofreciendo el tiempo suficiente para su manipulación en boca.<sup>1,2,5</sup>

Las resinas compuestas consisten de una matriz orgánica y una matriz inorgánica, ambos unidos por un agente de unión conocido como silano.<sup>15</sup> La matriz orgánica

está formada por los monómeros y el sistema de inducción para promover y modular la reacción de polimerización. La matriz inorgánica está formada por el material de relleno que es de mayor dureza que la matriz orgánica, cuando no es utilizada dicha matriz se muestran bajas propiedades mecánicas. De esta matriz o fase dependen las propiedades físicas y mecánicas del compuesto para su uso como material odontológico restaurativo.<sup>16,17</sup>

Desde su aparición en el mercado odontológico, estos materiales han sufrido importantes cambios, la clasificación va de acuerdo a la integración de material de relleno o de refuerzo, dado el tipo, tamaño, forma, y cantidad del material que se emplee, como lo muestra la figura 1. En los últimos años se ha tomado en cuenta la amplia gama de rellenos, visto desde su tamaño, estos van de dimensiones micrométricas hasta nanométricas actualmente.<sup>2,17</sup>



Figura 1. Evolución de la resina compuesta.

Actualmente, la investigación hacia este tipo de materiales se ha enfocado en la fase orgánica del material, principalmente en desarrollar sistemas con alto grado de polimerización así como reducir la principal desventaja que presentan, el encogimiento por polimerización.<sup>2,18</sup>

Por otra parte, otra serie de investigaciones buscan disminuir el esfuerzo generado en la interfase entre el tejido dentario y el material restaurador de la resina compuesta. Al utilizar moduladores de la reacción de polimerización se forman redes entrecruzadas, lo cual minimiza el esfuerzo por contracción y evita la aparición de microgrietas o desadaptaciones microscópicas, lo cual conduce a disminuir la aparición de caries secundaria.<sup>19</sup>

También se está investigando materiales llamados inteligentes, por ser materiales sensibles a estímulos, al cambiar de una manera controlada por un estímulo externo como un cambio de temperatura, esfuerzo mecánico, pH, humedad, y campos eléctricos o magnéticos. El comportamiento de estos materiales está basado en un cambio drástico de la conformación de las macromoléculas que lo envuelven.<sup>20, 21</sup>

Otro enfoque que se está buscando en las resinas compuestas, es desarrollar materiales autoreparativos basado en microcápsulas que contengan resina epóxica, con la idea, por ejemplo, de que al sufrir una grieta por fuerzas estáticas o dinámicas, las microcápsulas cercanas a la grieta sean destruidas y liberen resina rellenando subsecuentemente la falla del material.<sup>20,22,23</sup>

Otras investigaciones buscan hacer a la resina compuesta un material antimicrobial que tenga efecto sobre bacterias, ya sea reduciendo, retrasando o evitando la formación de biofilms sobre el material. La propuesta está encaminada al uso de plata o de antibióticos dentro del material. Los microbios son “asesinados” subsecuentemente al contacto con el material, o a través de la filtración de los agentes antimicrobianos al entorno donde fue colocado.<sup>20,24,25</sup>

La última tendencia se está encaminando a desarrollar resinas compuestas que contengan monómeros adhesivos. Estas formulaciones están basadas en los sistemas metacrilatos tradicionales, pero incorporan monómeros ácidos típicamente encontrados en agentes de adhesión dentinaria, los cuales pueden ser capaces de generar adhesión a través de interacciones mecánicas y posiblemente químicas con la estructura dentaria. Aunque estos materiales son recomendados como protectores cavitarios y para restauraciones pequeñas.<sup>2</sup>

## MONÓMEROS

La base monomérica predominante en el uso de resinas compuestas comerciales es el Bisfenol A glicidil metacrilato (BisGMA) (figura 2). Las ventajas de usar este monómero sobre el metilmetacrilato son que ofrece menor encogimiento por polimerización (6.1 %), mayor módulo de elasticidad y reducida toxicidad dado su menor volatilidad y difusión dentro de los tejidos.<sup>2,26</sup>

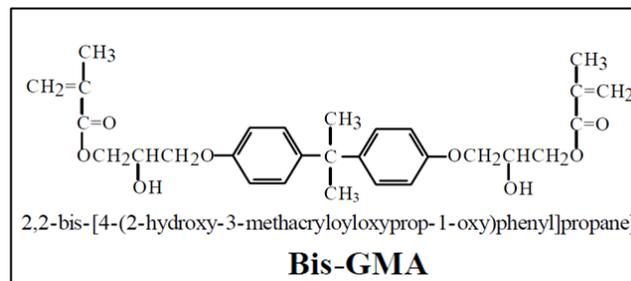


Figura 2. Estructura del Bisfenol A glicidil metacrilato.

Con un peso molecular de (512 g/mol), su alta viscosidad (1,200,000 mPa.s) no permite agregar una alta cantidad de material de relleno, ya que la mayor presencia de esta matriz permite aumentar las propiedades mecánicas, con la disminución de la contracción y del coeficiente de expansión térmico. Se entiende por viscosidad a la medición de la resistencia de las moléculas a fluir, y un alto valor de viscosidad es indicativo de la presencia de interacciones moleculares fuertes. Estas interacciones pueden causar una disminución de la movilidad de los

monómeros durante la polimerización y también una disminución de la flexibilidad de las redes poliméricas correspondientes, siendo en el BisGMA una desventaja.<sup>26</sup> Limitándose la conversión de monómero a polímero en un 39 %.<sup>27</sup>

Para disminuir la viscosidad del BisGMA se ha empleado en combinación con otros dimetacrilatos de menor peso molecular como el Trietilenglicol dimetacrilato (TEGDMA) (figura 3), el Dimetacrilato de uretano (UDMA) (figura 4) (Hoja de datos en apéndice 1) así como otros monómeros.<sup>26,28</sup>

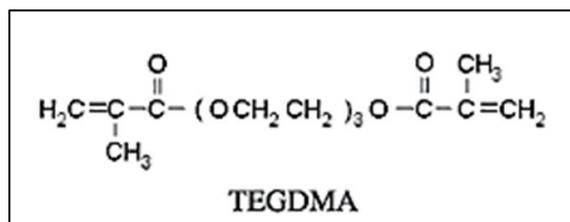


Figura 3. Estructura del Trietilenglicol dimetacrilato.

El TEGDMA es un monómero con una viscosidad de 11 mPa.s y con un peso molecular de 286 g/mol. Ha sido empleado en conjunto con el Bis-GMA para la disminución de la viscosidad de la mezcla, añadido en fracción de masa en un rango de 20 a 50% comúnmente.<sup>27</sup> Al tener un tamaño más pequeño habrá mayor concentración de dobles enlaces, de modo que este último a igual grado de conversión se presenta una mayor densidad de reticulación y formación de redes más ajustados.<sup>26</sup> Con un límite de conversión de monómero a polímero de 76 %.<sup>27</sup>

El dimetacrilato de uretano (UDMA) es uno de los monómeros bifuncionales utilizados en la composición de resinas compuestas dentales<sup>29</sup>, es una molécula alifática con uno o más grupos de uretano y dos grupos de metacrilato en sus extremos. Presenta una menor viscosidad (23100 mPa.s) y menor peso molecular (470 g/mol) en comparación con el Bis-GMA. El UDMA no tiene grupos hidroxilo, por lo tanto permite el desarrollo de resinas compuestas menos susceptibles a la absorción de agua y a la solubilidad, ofreciendo mayor flexibilidad, una menor dureza, y alta conversión (70 %), pero un encogimiento de 6.5 %.<sup>18,27,30</sup>

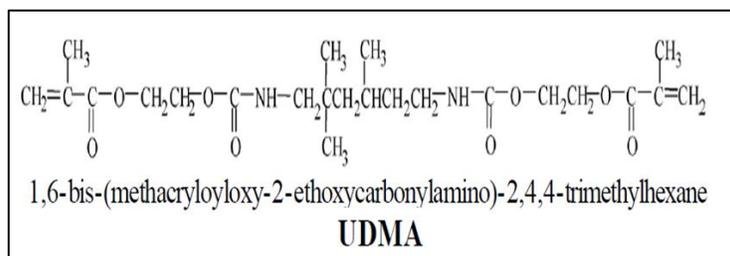


Figura 4. Estructura del Dimetacrilato de uretano.

Se ha demostrado que los componentes de las resinas compuestas dentales pueden ser liberados en la cavidad oral<sup>31</sup>, pudiendo causar varios efectos adversos, tales como irritación de la mucosa, la proliferación epitelial, reacción liquenoide oral, hipersensibilidad, y reacciones anafilactoides. Los tres monómeros más empleados en la formulación de resinas compuestas dentales (Bis-GMA, TEGDMA y UDMA) han sido estudiados y dado a conocer en la literatura la citotoxicidad que presentan en fibroblastos gingivales humanos<sup>32</sup>, hecho importante ya que las resinas compuestas colocadas en la cavidad oral tienen una aproximación cercana con este tipo de células. En otro estudio se mostró que el BisGMA es el componente más citotóxico de todos los componentes del que pudieran estar elaborados los materiales de restauración, seguido por sus precursores, el glicidil metacrilato y el bisfenol A. Como componente monomérico le siguieron UDMA y TEGDMA en citotóxicidad.<sup>33</sup>

El trimetillopropano trimetacrilato (TMPTMA) (Figura 5) (Hoja de Datos en apéndice 2) es un monómero trifuncional que contribuye a la formación de redes tridimensionales compactas<sup>34</sup>, su peso molecular es de 338 g/mol y una viscosidad de 44 mPa.s.<sup>35</sup> Hay reportes de su uso como adhesivo de prótesis de rodilla, y en odontología ha sido propuesto como adhesivo con posible aplicación ortodóncica<sup>36</sup>, y en combinaciones con otros monómeros para sistemas adhesivos dentinarios.<sup>37</sup> Al ser familia de los metacrilatos y poseer tres dobles enlaces carbono-carbono, aunado a su baja viscosidad, comparada con los de los

monómeros de mayor uso (tabla 1), pudiera ser empleado como monómero principal en la formulación de una resina compuesta para restauración directa.

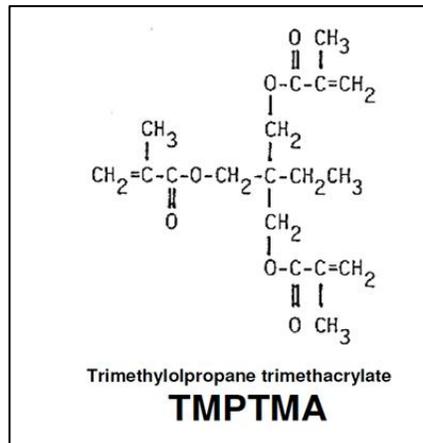


Figura 5. Estructura del Trimetilolpropano trimetacrilato.

Tabla 1. Propiedades de los monómeros de mayor uso en la elaboración de resinas compuestas.

Monómero	Peso Molecular (g/mol)	Viscosidad (mPa.s)	Grado de Conversión (%)	Encogimiento por polimerización (%)
<b>Bis-GMA</b>	512	1200000	39	6.3
<b>UDMA</b>	470	23100	70	7.6
<b>TEGDMA</b>	286	100	76	14.3
<b>TMPTMA</b>	338	44	¿?	¿?

## REACCIÓN DE POLIMERIZACIÓN

En el uso clínico, las resinas compuestas dentales en la cavidad oral están sujetas a condiciones extremas, como son los cambios de temperatura y de pH producto de la ingesta de los alimentos, demandando buenas propiedades químicas y mecánicas.<sup>10</sup> Se usa colocando el material sobre la estructura dentaria en el momento que posee una consistencia moldeable, para mantenerse en su sitio se debe dar paso a su reacción de polimerización.

La polimerización de los metacrilatos se puede lograr químicamente por calor o por luz; este último es preferible clínicamente porque es rápido y permite un control más preciso de todo el proceso de polimerización.<sup>26</sup> Las propiedades mecánicas dependen fundamentalmente del porcentaje de material sólido formado y de la estructura de red formada por los polímeros.<sup>18</sup>

La fotopolimerización usa energía lumínica para iniciar reacciones fotoquímicas en monómeros orgánicos, para formar un material polimérico de mayor peso molecular que el monómero. Se ha demostrado que el mejoramiento de la fotopolimerización es esencial para la optimización de las propiedades mecánicas, la biocompatibilidad y la estabilidad del color en las resinas compuestas.<sup>38-40</sup>

Las formulaciones de las resinas compuestas incluyen sistemas de fotoiniciación que absorben luz con lo cual inicia la conversión de la mezcla de monómeros a una red entrecruzada polimérica. La mayoría de las moléculas fotoiniciadoras formuladas para resinas dentales consisten de un sistema de dos componentes: El fotoiniciador el cual puede absorber directamente la luz, y un acelerador de la reacción que no absorbe la luz pero interactúa con el fotoiniciador activado para generar una especie reactiva (radical libre) e iniciar la polimerización.<sup>41</sup> El número y reactividad de estos radicales libres modulan la cinética de polimerización, la extensión de las cadenas poliméricas y el grado de conversión final.<sup>42,43</sup>

## **FOTOINICIADORES**

Hay dos categorías básicas de fotoiniciadores. El primer grupo envuelve a los fotoiniciadores tipo I que se someten a un proceso de fotofragmentación directa ( $\alpha$ -o menos comúnmente  $\beta$ -escisión) tras la absorción de la luz y la formación de radicales iniciales capaces de inducir la polimerización. El segundo grupo conocido como fotoiniciadores tipo II se someten a un proceso primario de abstracción de un átomo de hidrógeno del medio ambiente, que puede ser la

misma resina o un disolvente, pero usualmente es una amina terciaria para mejorar la eficacia.<sup>44</sup>

El fotoiniciador más utilizado en los sistemas de curado de resinas con luz es la camforoquinona (CQ) (figura 6).

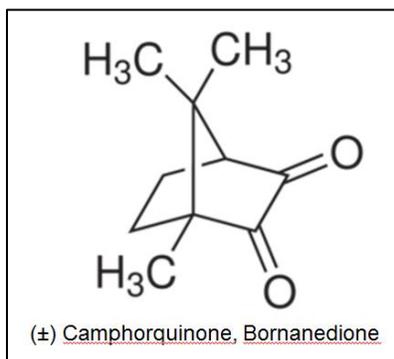


Figura 6. Estructura de la Camforoquinona.

La camforoquinona es un agente iniciador fotosensible tipo II perteneciente al grupo de las  $\alpha$ -dicetonas que puede generar radicales libres y necesita de un coiniador, generalmente una amina terciaria, que actúa como un agente reductor.<sup>45</sup> La CQ es un típico fotoiniciador de radicales libres activado por luz visible, exhibe un intervalo entre 460 y 480 nm de longitud de onda de absorción. La CQ absorbe luz alcanzando un estado excitación triple que interactúa con un electrón o una molécula donadora de protones, como una amina terciaria, para generar los radicales libres,<sup>42</sup> su uso tan extendido como fotoiniciador en resinas compuestas para restauración se debe al alto rendimiento de entrecruzamiento que produce en el material.<sup>46</sup> Sin embargo, la CQ es amarilla lo cual causa problemas en el color de las restauraciones, este factor limita la adición de la concentración de la CQ, donde se menciona que las concentraciones ideales oscilan entre 0.04-1.03 % en peso.<sup>45</sup> El aumento de las concentraciones del fotoiniciador es atractivo para la fotopolimerización ya que al incrementarse la concentración del fotoiniciador también lo hará el porcentaje de polimerización.<sup>47</sup>

Se ha determinado que la Camforoquinona es una molécula enantiomérica (figura 7).<sup>46</sup> Los enantiómeros, del griego *enantios* – opuesto y *morphe* – forma. Se definen como pares de estereoisómeros no interconvertibles entre sí por rotación alrededor de enlaces simples y cuyas imágenes especulares no son superponibles. Son compuestos cuyas moléculas son quirales, se diferencian muy poco estructuralmente, pudiendo poseer características físicas y químicas similares pero difieren en su comportamiento frente a la luz polarizada en un plano haciendo que la luz gire; esta desviación puede ser en sentido de las manecillas del reloj (“+”, “dextrógiro”, “d”). o en sentido contrario a las manecillas del reloj (“-“, “levógiro”, “l”). En cuanto a las propiedades químicas se menciona que son idénticas, excepto frente a reactivos ópticamente activos, originado por diferencias en la velocidad de reacción que pudiera tener el reactivo, haciendo que en algunos casos un estereoisómero no reaccione del todo.<sup>37</sup>

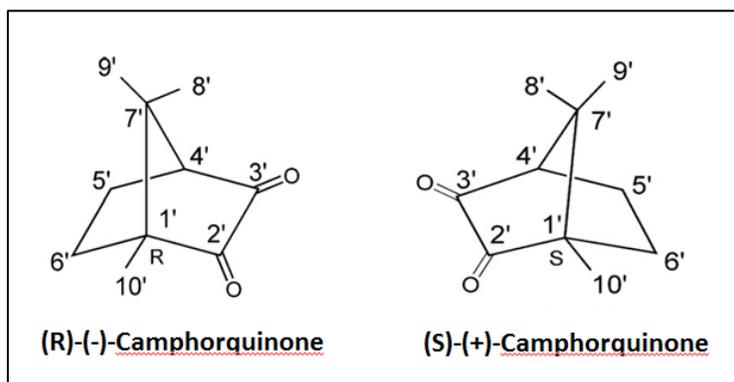


Figura 7. Enantiómeros de la Camforoquinona. (Hoja de datos en apéndice 3 y 4).

Su nomenclatura se basa en la especificación de la configuración usando el criterio de los números atómicos desarrollado por Cahn, Ingold y Prelog, posteriormente se adiciono al sistema IUPAC. Este sistema utiliza las letras mayúsculas R y S para designar la configuración de cada centro quiral (o carbono asimétrico) en una molécula quiral. Las letras R o S designan todos los centros quirales posibles de una molécula. La letra R procede del latín *rectus* - derecha,

mientras que S procede del latín *sinister* - izquierda. Si la molécula tiene solamente un carbono quiral, un enantiómero será R y el otro S.<sup>48,49</sup>

Los fabricantes han incluido diferentes fotoiniciadores en la matriz orgánica para actuar solo o sinérgicamente con la camforoquinona. Compuestos derivados de las  $\alpha$ -dicetonas como la Fenilpropanodiona (PPD) (figura 8) (Hoja de datos en apéndice 5) son usados en formulaciones para adhesivos y resinas compuestas para mejorar la cinética de polimerización y disminuir los efectos amarillentos de la CQ. La Fenilpropanodiona tiene un grupo aromático de un lado del dicarbonilo, y un grupo metilo del otro lado.<sup>50</sup> La máxima absorción está en la región UV cercana (UVA) y se extiende ligeramente dentro del rango de luz visible. Es fundamental para el mejoramiento de la eficacia de la reacción fotoquímica conocer el espectro de absorción de los fotoiniciadores que se superponen con la emisión espectral de las lámparas de fotopolimerizado.<sup>42</sup>

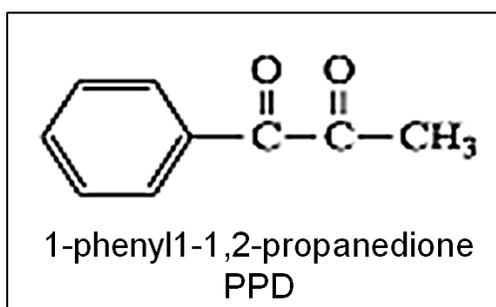


Figura 8. Estructura del Fenilpropanodiona.

## ACELERADOR

Como parte de los componentes de una resina compuesta dental, los aceleradores (también llamados co-iniciadores) son sustancias químicas utilizadas para inducir el proceso de polimerización de los monómeros de una manera más rápida, un ejemplo de este componente es el N,N-Dimetil-p-toluidina (DMPT) (figura 9) (Hoja de Datos en apéndice 6).<sup>15</sup>

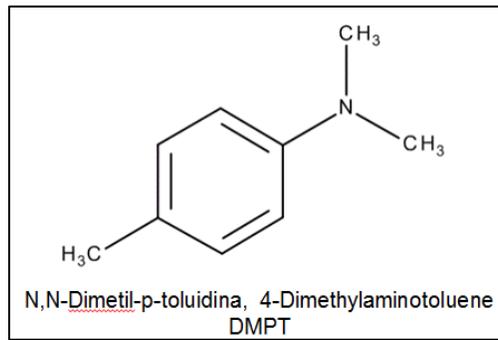


Figura 9. Estructura del N,N-Dimetil-p-toluidina.

## DISPOSITIVOS DE FOTOACTIVADO

Se cuenta con diferentes sistemas de fotoactivado como son lámparas de luz halógena, de arco de plasma, láser y actualmente las lámparas con tecnología LED (Luz emitida por diodos).<sup>51</sup> Las lámparas con tecnología LED fueron introducidas en la década de los 90's como un modo de energía alterna para la polimerización de materiales restaurativos dentales, difiriendo en la tecnología física de emisión de luz de las que ya existían en el mercado. Los LED's o fotodiodos se conocen desde décadas atrás siendo utilizados como indicadores luminosos en semáforos y paneles publicitarios. Los fotodiodos que se utilizan en las lámparas de fotoactivado utilizan nitruro de galio e indio como compuesto en el semiconductor. Estas lámparas LED requieren de menor energía para funcionar, dando una expectativa de vida de varios cientos de horas sin pérdida significativa de la emisión de luz, ya que producen luz sólo dentro de un rango espectral estrecho, eliminando el uso de filtros. Esta baja energía requerida puede eliminar la necesidad de un sistema de enfriamiento ya que no se producen longitudes de onda infrarroja productoras de calor; esto da como resultado que sean utilizadas con baterías recargables haciendo posible que puedan ser utilizadas inalámbricamente, portables, y relativamente más ligeras de peso.<sup>52,53</sup>

Los primeros dispositivos generaban una luz visible de color azul de una longitud de onda de 470 nm con la capacidad de fotopolimerizar los materiales que tuvieran únicamente el fotoiniciador con la misma longitud de onda para ser

sensibilizada como la Camforoquinona.<sup>52</sup> Actualmente, existen dispositivos que funcionan en un amplio intervalo del espectro de luz hacia el color violeta, además de diferentes potencias. También se han generado dispositivos que ofrecen en la misma lámpara diferentes modos de fotoactivar (modo continuo y modo de inicio suave) ofreciendo con ello la posibilidad de fotopolimerizar materiales con distintas densidades de energía.<sup>54</sup> Es de importancia conocer la potencia que generan estos dispositivos, y de esta manera emplear el tiempo suficiente para generar  $16 \text{ J/cm}^2$ , que es la densidad de energía mínima para una adecuada polimerización.<sup>55</sup>

## **GRADO DE CONVERSIÓN**

El grado de conversión o grado de polimerización de las resinas compuestas hace referencia a cuánto porcentaje de monómero se ha convertido en polímero en un tiempo determinado.<sup>56</sup> Es uno de los factores importantes que afectan el desempeño clínico de los materiales compuestos.<sup>57</sup> Teóricamente durante la reacción de polimerización, todas las moléculas de los monómeros deberían convertirse en polímero. Sin embargo, los metacrilatos exhiben un residuo importante de dobles enlaces (C=C) en el producto final.<sup>56</sup> Los dobles enlaces sin reaccionar están presentes en forma de monómeros libres en la red polimérica. El monómero que no ha reaccionado puede difundirse desde el material polimerizado e irritar los tejidos suaves<sup>26</sup>, así como promover el crecimiento bacteriano alrededor del compuesto<sup>58</sup>. Por otra parte, el monómero atrapado en la restauración puede reducir la utilidad clínica de la resina compuesta a través de la oxidación y degradación hidrolítica que puede manifestarse en formas tales como decoloración de la resina y desgaste acelerado.<sup>26</sup>

En general, a mayor conversión de dobles enlaces, mayor será la resistencia mecánica del polímero o del material polimérico. El grado de conversión de una resina depende, entre otros, de la estructura química del monómero, del material de relleno, el tiempo de curado, la intensidad de luz, la concentración del fotoiniciador.<sup>26,59,60,</sup>

## MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE CONVERSIÓN

La conversión de los polímeros dentales a base de metacrilatos ha sido examinada por varios métodos incluyendo espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN), calorimetría diferencial de barrido (CDB), análisis térmico diferencial (ATD), espectroscopia Raman, espectroscopia infrarroja (FTIR).<sup>61-63</sup>

De estos métodos, la espectroscopia de infrarrojo por Transformadas de Fourier (FTIR) ha sido usada extensamente, demostrando ser una técnica potente y ampliamente confiable, ya que detecta las vibraciones de estiramiento de C = C directamente antes y después de la reacción química de los materiales.<sup>63-66</sup>

Existen también métodos relativos con los cuales puede relacionarse el grado de conversión, como determinación de la dureza superficial del material, la resistencia a soportar fuerzas (cargas), así como la contracción del material polimerizado.<sup>56,67,68,</sup>

La dureza es una de las propiedades mecánicas más demostrativas del comportamiento y durabilidad de las resinas compuestas. La medida de dureza es un método indirecto de evaluación del grado relativo de polimerización o curado, ya que se correlaciona con el grado de conversión determinado directamente a partir de espectroscopia infrarroja (FTIR).<sup>56,65-68</sup> La prueba de dureza Vickers es un método común usado para caracterizar materiales; es preferida por la mayoría de los investigadores porque necesita una pequeña cantidad de material, y esta no siempre se destruye durante la prueba.<sup>56,69,70</sup> Se ha encontrado una buena correlación entre la dureza y el grado de conversión de monómeros dentro de una resina, cuando es determinada por espectroscopia infrarroja.<sup>67,71</sup>

Las propiedades mecánicas en las resinas compuestas están fuertemente relacionadas con el grado de conversión. Las propiedades de flexión son altamente relacionadas con el grado de conversión, influyendo también en el módulo elástico en flexión.<sup>55,72</sup>

Otra de las propiedades relacionadas con el grado de conversión es el encogimiento por polimerización, ya que la conversión de moléculas monoméricas a una red polimérica es acompañada por un empaquetamiento cerrado de las moléculas, lo cual conduce a una contracción. Se menciona que a mayor grado de conversión mayor la contracción del material dependiendo de las características de la fase orgánica, como del tipo de monómero. Se ha descrito que a la menor viscosidad del material mayor número de moléculas monoméricas pueden ser agregadas a las cadenas y redes poliméricas. La literatura ha demostrado que disminuir la velocidad de curado de materiales compuestos de resina iniciada por luz mejora la integridad de la interfaz de material compuesto con las estructuras a las cuales está adherida, como resultado de una contracción más gradual. Por lo tanto, la estructura del polímero formado, su grado de conversión y la cinética de la reacción son aspectos importantes a estudiar.<sup>73-78</sup>

## 2. Metodología

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los metacrilatos dan lugar a la formación de redes de polímero que se traduce en efectos favorables como una rápida polimerización, propiedades mecánicas superiores a la de polímeros lineales. Pero con la desventaja de no polimerizar por completo y la contracción del material producto de la reacción de polimerización. El dimetacrilato más popular es el Bisfenol A Glicidil Dimetacrilato (Bis-GMA). Se ha empleado también al Dimetacrilato de Uretano (UDMA) como monómero principal en las formulaciones para las resinas compuestas, el cual presenta un menor peso molecular y una significativa disminución en la viscosidad. Una posible opción para sustituirlo es el Trimetilolpropano trimetacrilato (TMPTMA) con una menor viscosidad y peso molecular, pero con la característica de presentar tres dobles enlaces capaces de formar una red de polímero.

Una manera de modular la cinética de la polimerización, la extensión de las cadenas poliméricas y regular el grado de conversión, es por medio del sistema de inducción de la polimerización, fotoiniciador/co-iniciador, variando el tipo y la concentración.

Dada la importancia del grado de conversión en los materiales para restauración a base de resina y su relación con la estructura del monómero y el sistema de inducción; y como esta influye en muchas de las propiedades físicas y mecánicas, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál será el grado de conversión en resinas a base de Trimetilolpropano trimetacrilato al cambiar el fotoiniciador?

## JUSTIFICACIÓN

El estudio actual de las resinas compuestas para uso dental se centra en la matriz polimérica del material, principalmente para desarrollar sistemas con mayor grado de conversión y menor contracción de polimerización buscando mejoras en las propiedades; ya que las propiedades tienen relación con el desempeño clínico. Una estrategia es buscar alternativas al monómero Bis-GMA, en este trabajo se propone un metacrilato trifuncional.

Las moléculas enantioméricas presentan la particularidad que un enantiómero puede tener un efecto “benéfico” en un sistema, actuando de manera específica, mientras que la otra forma enantiomérica puede no causar efecto alguno. El fotoiniciador pudiera presentar esta propiedad.

El grado de conversión es un parámetro importante para valorar las propiedades de las resinas compuestas y es influenciado tanto por la matriz polimérica como por el fotoiniciador del sistema de inducción, por lo que se propone realizar un estudio de la influencia del tipo y de las diferentes concentraciones de Camforoquinona y Fenilpropanadiona en la conversión del monómero trifuncional TMPTMA y compararlo con una resina compuesta a base del monómero difuncional UDMA que es utilizado como monómero principal en resinas compuestas comerciales.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar el grado de conversión de resinas preparadas con Trimetilolpropano trimetacrilato relativas a las resinas preparadas con Dimetacrilato de uretano.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de las Camforoquinonas (“R” y “S”) y de la Fenilpropanodiona en el grado de conversión de las mezclas de resinas experimentales.
- Calcular los porcentajes de grado de conversión de las mezclas de resinas experimentales usando Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier con accesorio de Reflectancia Total Atenuada.
- Calcular la dureza superficial usando el método Vickers de las mezclas de resinas experimentales.
- Calcular la resistencia a la flexión de las mezclas de resinas experimentales.
- Calcular el módulo elástico en flexión de las mezclas de resinas experimentales.
- Calcular el encogimiento por fotopolimerización de las mezclas de resinas experimentales.
- Calcular la rapidez de fotopolimerización de las mezclas de resina experimentales.
- Determinar la influencia de diferentes porcentajes del sistema de inducción en cada mezcla de resina experimental.
- Identificar la correlación entre los valores de las diferentes pruebas con el grado de conversión obtenido con espectroscopia infrarroja.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis de trabajo**

- Las resinas experimentales a base de TMPTMA presentaran mayor grado de conversión, dureza, propiedades de flexión, encogimiento y rapidez de polimerizado comparadas con las resinas experimentales a base de UDMA.

### **Hipótesis nula**

- Las resinas experimentales a base de TMPTMA presentaran menor grado de conversión, dureza, propiedades de flexión, encogimiento y rapidez de polimerizado comparadas con las resinas experimentales a base de UDMA.

## **TIPO DE ESTUDIO**

Experimental, transversal y comparativo.

## **POBLACIÓN DE ESTUDIO**

- 1) Resinas preparadas con Trimetilolpropano Trimetacrilato con tres diferentes fotoiniciadores a cuatro diferentes porcentajes del sistema de inducción.

## **GRUPO CONTROL**

- 1) Resinas preparadas con Dimetacrilato de Uretano con tres diferentes fotoiniciadores a cuatro porcentajes del sistema de inducción.

## **VARIABLES**

### **Variables independientes**

1. Resina preparada con Trimetilolpropano trimetacrilato.

Variando: - tipo de fotoiniciador.

- concentración del sistema de inducción.

- a) Definición conceptual. Material polimérico formulado con Trimetilolpropano trimetacrilato como monómero, una sustancia fotoiniciadora, y una sustancia aceleradora.
- b) Definición operacional. Material polimérico a base de Trimetilolpropano trimetacrilato, empleando uno de los tres diferentes fotoiniciadores (CQ-S, CQ-R, y PPD), a cuatro diferentes concentraciones (0.15%, 0.40%, 1.00% y 1.50%) del sistema de inducción en relación 1:1.
- c) Escala de Medición. Cualitativa nominal.

2. Resina preparada con Dimetacrilato de uretano.

Variando: - tipo de fotoiniciador.

- concentración del sistema de inducción.

- a) Definición conceptual. Material polimérico formulado con Dimetacrilato de uretano como monómero, una sustancia fotoiniciadora, y una sustancia aceleradora.
- b) Definición operacional. Material polimérico a base de Dimetacrilato de uretano, empleando uno de los tres diferentes fotoiniciadores (CQ-S, CQ-R, y PPD), a cuatro diferentes concentraciones (0.15%, 0.40%, 1.00% y 1.50%) del sistema de inducción en relación 1:1.
- c) Escala de Medición. Cualitativa nominal.

### **Variables dependientes**

1. Grado de conversión calculado con FTIR-ATR.

- a) Definición conceptual. Determinación de la cantidad de monómero que se convierte en polímero obtenido a través de espectroscopia infrarroja.
- b) Definición operacional. Porcentaje de la cantidad de monómero que se convierte en polímero obtenido a través de un espectrofotómetro infrarrojo por transformada de Fourier con accesorio de reflectancia total atenuada, empleando los valores de absorbancia de la banda característica del C=C en estiramiento antes y después de fotopolimerizado.
- c) Escala de Medición. Cuantitativa continua en porcentaje (%).

2. Dureza Vickers.

- a) Definición conceptual. Propiedad mecánica de los materiales que consiste en obtener la resistencia que opone el material a ser deformado plásticamente por medio de un indentador de diamante de forma piramidal con base cuadrada.

- b) Definición operacional. Es el cálculo obtenido usando la fuerza de indentación sobre la superficie de la resina experimental, hecha con un indentador de diamante de forma piramidal de base cuadrada, empleando una carga de 1000 gf.
- c) Escala de Medición. Cuantitativa continua en número Vickers (HV).

### 3. Resistencia a la flexión.

- a) Definición conceptual. Es el esfuerzo máximo que soporta el material al sufrir una carga de deflexión en una prueba de flexión.
- b) Definición operacional. Es el cálculo del esfuerzo máximo que presenta la resina en una prueba de flexión de 3 puntos obtenida por cada muestra de resina experimental.
- c) Escala de Medición. Cuantitativa continua en Megapascales (MPa).

### 4. Módulo Elástico en flexión.

- a) Definición conceptual. Constante elástica que relaciona la proporción entre el esfuerzo y la deflexión del material en una prueba de flexión de 3 puntos.
- b) Definición operacional. Es el cálculo de la relación proporcional entre el esfuerzo y la deflexión de la resina dentro de la región elástica obtenida de la gráfica esfuerzo-deflexión de cada muestra de resina experimental.
- c) Escala de Medición. Cuantitativa continua en Gigapascales (GPa).

### 5. Encogimiento por polimerización.

- a) Definición conceptual. Es el porcentaje dado por la contracción del material polimérico después de terminada la reacción de polimerización.
- b) Definición operacional. Es el último valor obtenido de la resina experimental, a través de la gráfica encogimiento-tiempo al final de la prueba de contracción.

c) Escala de Medición. Cuantitativa continua en porcentaje (%).

6. Rapidez de polimerización:

a) Definición conceptual. Es la relación entre el encogimiento y el tiempo con que da inicio la reacción de polimerización en un material.

b) Definición operacional. Es el cálculo obtenido de la contracción con el cual la resina pasa a ser un material polimérico, obtenido durante los primeros 20 segundos una vez iniciada la reacción de polimerización.

c) Escala de Medición. Cuantitativa continua en micras sobre minuto ( $\mu\text{m}/\text{min}$ ).

## **RECURSOS**

### **Recursos humanos**

- Estudiante de la Maestría en Ciencias Odontológicas en el área de Biomateriales dentales.
- Tutor del trabajo de investigación.

### **Recursos financieros**

- Beca CONACYT del estudiante.
- Proyecto UNAM-PAPIIT-IT201612.

### 3. Materiales y métodos

#### PREPARACIÓN DE MEZCLAS

Para la preparación de las mezclas de resinas experimentales de esta investigación se emplearon los siguientes:

#### Reactivos

Tabla 2. Reactivos empleados en la formulación de las diferentes mezclas de resinas experimentales.

Reactivo	Abreviatura	Marca
Trimetilolpropano trimetacrilato	TMPTMA	Sigma-Aldrich®
Dimetacrilato de uretano	UDMA	Sigma-Aldrich®
Camforoquinona – R	CQR	Sigma-Aldrich®
Camforoquinona – S	CQS	Sigma-Aldrich®
Fenilpropanodiona	PPD	Sigma-Aldrich®
N,N-Dimetil-p-toluidina	DMPT	Sigma-Aldrich®

#### Instrumental y equipos

Tabla 3. Instrumental y equipos empleados en la formulación de las diferentes mezclas de resinas experimentales.

- Cristalería.	- Espátula para polvos.
- Micropipeta mecánica de volumen regulable con eyector (Clindig System®, EUA).	- Frascos de vidrio ámbar con tapa.
- Balanza analítica (Ohaus®, G200, EUA).	- Cronómetro.

#### Composición de las resinas experimentales

Tabla 4. Composición de las resinas experimentales.

MONÓMERO	• TMPTMA
	• UDMA
FOTOINICIADOR	- Camforoquinona – R.
	- Camforoquinona –S.
	- Fenilpropanodiona.
ACELERADOR	- N,N-Dimetil-p-toluidina.

## Diseño experimental

Tabla 5. Diseño experimental. Porcentajes en peso de la mezcla.

No	Monómero		Fotoiniciador			Acelerador
	TMPTMA	UDMA	CQ-R	CQ-S	PPD	DMPT
1	99.7 %		0.15 %			0.15 %
2	99.2 %		0.40 %			0.40 %
3	98.0 %		1.00 %			1.00 %
4	97.0 %		1.50 %			1.50 %
5	99.7 %			0.15 %		0.15 %
6	99.2 %			0.40 %		0.40 %
7	98.0 %			1.00 %		1.00 %
8	97.0 %			1.50 %		1.50 %
9	99.7 %				0.15 %	0.15 %
10	99.2 %				0.40 %	0.40 %
11	98.0 %				1.00 %	1.00 %
12	97.0 %				1.50 %	1.50 %
13		99.7 %	0.15 %			0.15 %
14		99.2 %	0.40 %			0.40 %
15		98.0 %	1.00 %			1.00 %
16		97.0 %	1.50 %			1.50 %
17		99.7 %		0.15 %		0.15 %
18		99.2 %		0.40 %		0.40 %
19		98.0 %		1.00 %		1.00 %
20		97.0 %		1.50 %		1.50 %
21		99.7 %			0.15 %	0.15 %
22		99.2 %			0.40 %	0.40 %
23		98.0 %			1.00 %	1.00 %
24		97.0 %			1.50 %	1.50 %

## **Procedimiento**

Todas las mezclas fueron preparadas por un solo operador bajo condiciones de humedad y temperatura controladas (60% H.r. y  $22 \pm 1^\circ \text{C}$ ).

Todos los reactivos fueron colocados dentro de un cuarto oscuro, hasta que adquirieran la temperatura ambiente del laboratorio. En dicho cuarto oscuro se realizaron posteriormente las mezclas.

Previamente, en el caso de los reactivos PPD y DMPT se calculó el equivalente del porcentaje en peso del reactivo en microlitros, para ser incorporado a la mezcla.

Con la ayuda de la balanza analítica se pesaron por separado cada uno de los componentes, monómeros y fotoiniciadores.

Primero se colocó el monómero en un vaso de precipitado, posteriormente se agregó el acelerador y se comenzó un movimiento giratorio con la espátula de polvos para ir integrando ambos componentes, hasta visualizar una mezcla homogénea. Posteriormente se incorporó el fotoiniciador, y de igual manera se completó la mezcla hasta obtener todos los reactivos en una mezcla homogénea. En seguida se almacenó la mezcla en un frasco color ámbar, etiquetándolo con el número de mezcla y fecha de elaboración. La mezcla fue almacenada dentro de una caja opaca y puesta en un refrigerador a  $5^\circ \text{C}$  para uso posterior en las diferentes pruebas. Antes de ser empleada para la elaboración de muestras de una prueba, la resina fue retirada del refrigerador y puesta a temperatura ambiente una noche anterior dentro de una caja opaca.

Se elaboraron 24 mezclas de resina de 20 gramos cada una, como se muestra en la tabla 5.

## LÁMPARA DE FOTOACTIVADO

Se decidió emplear una lámpara de fotoactivado de emisión de luz por diodos comercial para materiales dentales, Bluephase<sup>®</sup> C8 G2 (Ivoclar Vivadent<sup>®</sup>, Liechtenstein) (Figura 10).



Figuras 10. Lámpara de fotoactivado Bluephase<sup>®</sup> C8 G2, mostrando las características para la emisión de la luz. Fuente: Perfil técnico de la casa comercial.

### Características

El fabricante refiere que el dispositivo tiene las siguientes características: generar una irradiancia de  $800 \text{ mW/cm}^2$ , presentar tres modos de emitir la luz (modo continuo alto o High, modo continuo bajo o Low, y modo de inicio suave o Soft), contar con un programador de tiempo el cual permite seleccionar entre 5, 10, 20 y 30 segundos cada ciclo de luz; poseer cuatro LED's, 3 con la capacidad de generar luz de color azul, y 1 para generar luz violeta y de esta manera ampliar su espectro de luz para la fotoactivación de toda clase de materiales dentales con distinto tipo de fotoiniciador a la Camforoquinona (Figura 11).<sup>79</sup>



Figura 11. Fotografías de LED's presentes en la lámpara Bluephase<sup>®</sup> C8 G2. Fuente: Directa.

## **Irradiancia**

Se define como la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. Su unidad, en el Sistema Internacional de Unidades, es el  $W/m^2$ .

Se determinó la irradiancia de la lámpara Bluephase<sup>®</sup> C8 G2 empleando un radiómetro de curado (L.E.D. Radiometer, mod. 100 optilux, Demetron Research Corporation, CT, EUA) (Figura 12) en los tres modos de fotoactivación que ofrece dicha lámpara en un ciclo de 20 segundos de emisión de la luz.



Figura 12. Radiómetro de curado L.E.D. Radiometer<sup>®</sup>, mod. 100 optilux, Demetron Research Corporation, CT, EUA. Fuente: Directa.

## **Determinación de la longitud de onda emitida por la lámpara**

Se obtuvo el espectro que generó la lámpara Bluephase<sup>®</sup> C8 G2 con la colaboración del Dr. Antonio A. Rodríguez Rosales, del Laboratorio de Óptica No Lineal del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), UNAM. Para obtener dicho espectro, se empleó un espectrofotómetro de absorción de luz ultravioleta-visible de la lámpara en modo de activación continua alta (High) (Figura 13).

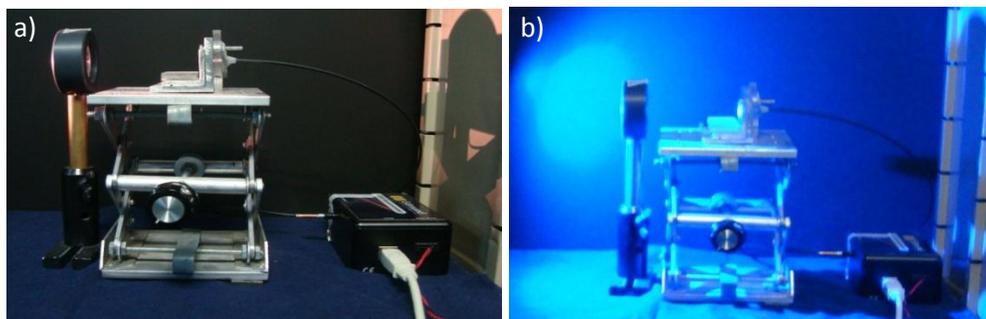


Figura 13. a) Espectrofotómetro utilizado para la detección de la longitud de onda de la lámpara de fotoactivado. b) Concentración de la luz de la lámpara de fotoactivado en el espectrofotómetro. Fuente: Directa.

## **ESPECTROS DE ABSORCIÓN DE LOS FOTOINICIADORES**

Los espectros de los tres fotoiniciadores utilizados en las resinas experimentales fueron obtenidos con espectroscopia de Ultravioleta-Visible (UV-Vis) con la colaboración de la Dra. América R. Vázquez Olmos del Departamento de Materiales y Nanotecnología del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), UNAM.

## **DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE GRADO DE CONVERSIÓN USANDO ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER Y ACCESORIO DE REFLECTANCIA TOTAL ATENUADA (FTIR-ATR)**

### **Material y Equipos**

- Resinas experimentales.
- Espátula para resinas.
- Lámpara de fotoactivado Bluephase<sup>®</sup> C8 G2 (Ivoclar Vivadent<sup>®</sup>).
- Espectrofotómetro de Infrarrojo por Transformada de Fourier Nicolet 6700 (Thermo scientific<sup>®</sup>) equipado y accesorio ATR (Reflectancia Total Atenuada) punta de diamante modelo Smart Orbit (Thermo scientific<sup>®</sup>) (Figura 14).

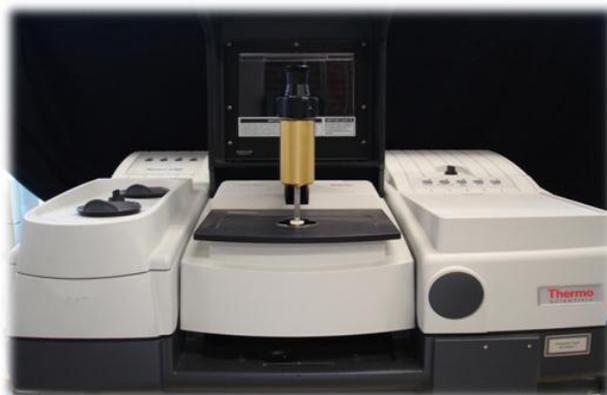


Figura 14. Espectrofotómetro FTIR-ATR. Fuente: Directa.

Esta prueba se realizó con la colaboración del Q. Miguel Ángel Canseco Martínez del Departamento de Polímeros del Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

### **Identificación previa de bandas en los monómeros**

Previamente a la obtención del porcentaje de grado de conversión de las resinas experimentales, se obtuvieron los espectros de los monómeros y la identificación de sus bandas. Para ello, se colocó una pequeña muestra del monómero en la ventana del espectrofotómetro, y se detectó la absorbancia del material en un rango de resolución de  $400\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  y 32 barridos.

### **Procedimiento**

Posterior a la identificación de las bandas se procedió a la obtención de los espectros correspondientes de las resinas experimentales para calcular el porcentaje de grado de conversión. Sobre la ventana del espectrofotómetro se colocó una gota de la mezcla de resina, cubriendo por completo la ventana; enseguida se cubrió la gota con una tapa para evitar que recibiera la luz ambiental y dar paso al escaneo y obtención del espectro de la resina sin polimerizar. (Figura 15).

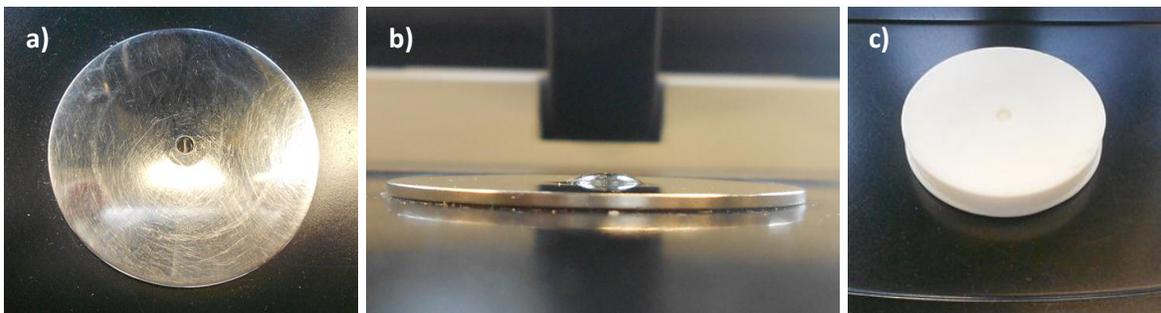


Figura 15. a) Ventana del espectrofotómetro FTIR-ATR; b) Colocación de una gota de mezcla de resina experimental sobre la ventana del detector; c) Cubrimiento de la ventana del espectrofotómetro. Fuente: Directa.

Una vez obtenido el espectro del material sin polimerizar, se descubrió la gota y se procedió a la fotopolimerización con la lámpara durante 40 segundos, tratando de colocar la punta de la lámpara lo más cercana al material. (Figura 16)

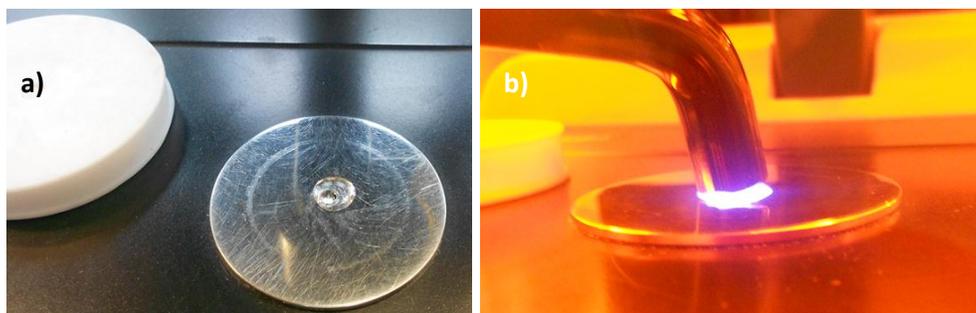


Figura 16. a) Descubrimiento de la gota de material después de haber obtenido el espectro; b) Fotoactivación de la gota de resina experimental sobre la ventana del espectrofotómetro. Fuente: Directa.

Una vez fotoactivado el material, se procedió a la obtención del espectro de la resina experimental. Se retiró el material con ayuda de una espátula, y se limpió la ventana detectora de los restos del material con acetona y una toallita absorbente. Se esperó un tiempo suficiente para la evaporación de la acetona para continuar con la obtención del siguiente espectro. La obtención de espectros del material antes y después del fotopolimerizado fue por triplicado.

### Fórmula para la obtención del porcentaje de grado de conversión

Con ayuda del software contenido en la computadora del espectrofotómetro se prepararon los espectros obtenidos para la obtención del porcentaje de grado de conversión. El porcentaje de grado de conversión de las mezclas de resinas experimentales fue calculado a partir de la determinación de las bandas en absorción del espectro obtenido de cada una de las muestras antes y después de polimerizado el material, siguiendo el monitoreo de la máxima absorción de las bandas características del enlace C=C y del enlace C=O a  $1637\text{ cm}^{-1}$  y  $1715\text{ cm}^{-1}$  respectivamente. Posteriormente se usó la siguiente ecuación.<sup>80</sup>

$$GC_{C=C/C=O} = 1 - \left[ \frac{(A_{C=C}/A_{C=O})_{\text{POLÍMERO}}}{(A_{C=C}/A_{C=O})_{\text{MONÓMERO}}} \right] \times 100$$

Donde  $A_{C=C}$  representa la absorción de la banda de  $1637\text{ cm}^{-1}$  y  $A_{C=O}$  representa la absorción de la banda a  $1715\text{ cm}^{-1}$ . (Figura 17)

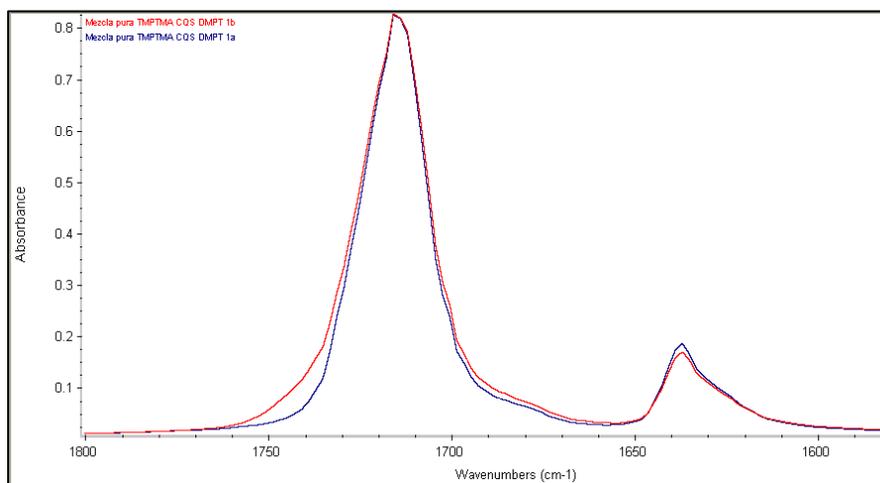


Figura 17. Espectro en absorción de FTIR a  $1715\text{ cm}^{-1}$  y  $1637\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a las bandas C=O y C=C respectivamente de las mezclas de resina experimentales. La línea en color azul representa a la banda del material antes de polimerizar la resina. La línea en color rojo representa la banda del mismo material después de polimerizar.

## DETERMINACIÓN DE LA DUREZA VICKERS

### Material y equipos

- Resinas experimentales.
- Molde de acero inoxidable para la confección de muestras cilíndricas de 10 mm de diámetro y 2 mm de grosor.
- Cinta de polipropileno (Cinta Mylar®).
- Loseta de vidrio de 5 mm de grosor.
- Aceite de silicón.
- Lámpara de fotoactivado Bluephase® C8 G2 (Ivoclar Vivadent®).
- Durómetro Matsuzawa® MHT2® (High Quality Micro Hardness Tester®, Japón). Con punta de diamante piramidal y base cuadrada. (Figura 18)



Figura 18. Durómetro Matsuzawa® MHT2®. Fuente: Directa.

Esta prueba se realizó con la colaboración de la M. en C. Rebeca Trejo Luna del Laboratorio Van De Graaff MeV 0.07, del Departamento de Física Experimental en el Instituto de Física, UNAM.

## **Procedimiento**

Se prepararon muestras cilíndricas de 10 mm de diámetro y 2 mm de espesor dentro de un molde de acero inoxidable (Figura 19). Una vez vertida la resina experimental en el molde se procedió a la fotoactivación con la lámpara durante 40 segundos (Figura 20). Al retirar la muestra, cada una fue pigmentada en la superficie inferior del cilindro, por dos razones, la primera era identificar la superficie que había estado cercana a la punta de la lámpara, denominándola superficie superior, ya que es la superficie a la que se haría la prueba de dureza. La segunda razón es para hacer un medio de contraste en la resina, ya que al ser translúcida, el paso de la luz del microscopio del durómetro no permitía hacer una visualización correcta de la huella. De esta manera, se corrigió ese detalle.

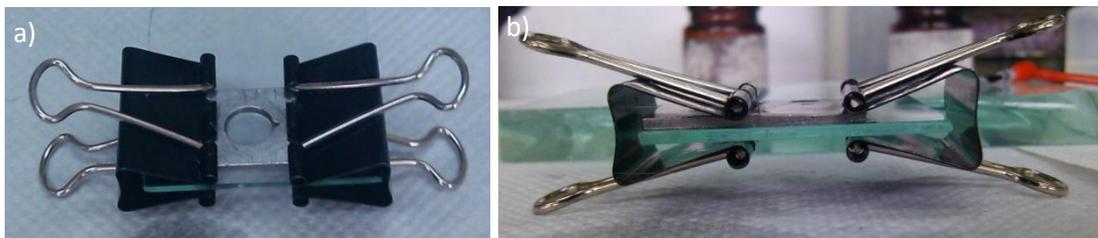


Figura 19. a) y b) Molde de acero inoxidable preparado para la realización de muestras. Fuente: Directa.

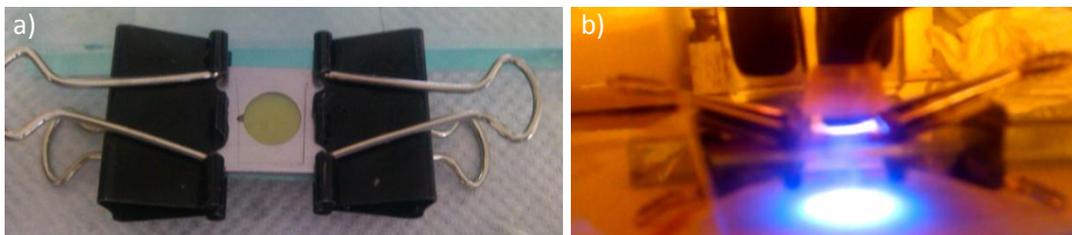


Figura 20. Resina colocada en el molde (a) y fotopolimerizada (b). Fuente: Directa.

Realizadas las muestras, se guardaron en un recipiente opaco sellado durante 24 horas. Se colocó la muestra las mordazas del durómetro, para facilitar su manejo. Se estableció previamente la carga y el tiempo necesarios para la identificación de la huella en la muestra (Figura 21). La medición de las diagonales se realizó

inmediatamente después de haber hecho la carga. A cada muestra se le realizaron 6 indentaciones distribuidas en toda la superficie. Por cada grupo se realizaron 3 muestras, es decir, el número total de indentaciones fue de dieciocho (n=18).



Figura 21. a) Colocación de la muestra en el durómetro. b) Colocación del indentador en la muestra de resina. Fuente: Directa.

### **Fórmula para la obtención de la dureza Vickers**

Se registraron las dos diagonales de la huella, diagonal vertical ( $d_v$ ) y diagonal horizontal ( $d_h$ ) hecha por el indentador en la muestra de resina experimental. Se obtuvo un promedio denominándola diagonal ( $d$ ). La cual fue empleada en la siguiente fórmula: <sup>81,82</sup>

$$HV = \frac{(1854) (gf)}{d^2}$$

Dónde:

- HV, es la dureza Vickers.
- gf, es la carga empleada en gramos-fuerza.
- $d^2$ , es el promedio de las diagonales en micrómetros al cuadrado ( $\mu m^2$ ).
- 1854, es una constante.

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE FLEXIÓN

### Material y equipos

- Resinas experimentales.
- Silicona por condensación pesado.
- Lámpara de fotoactivado Bluephase<sup>®</sup> C8 G2 (Ivoclar Vivadent<sup>®</sup>).
- Máquina Universal de Pruebas Mecánicas INSTRON<sup>®</sup> Modelo 5567 (EUA).  
Con aditamentos para prueba de flexión de 3 puntos. (Figura 22)



Figura 22. Máquina Universal de Pruebas Mecánicas INSTRON<sup>®</sup>. Fuente: Directa.

Esta prueba se realizó en el Laboratorio de Investigación en Materiales Dentales, en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Odontología, UNAM.

## Procedimiento

Se realizaron muestras de resina en forma de barra de 25 mm de largo, 2 mm de ancho y 2 mm de grosor usando un molde a base de silicona por condensación. (Figura 23)

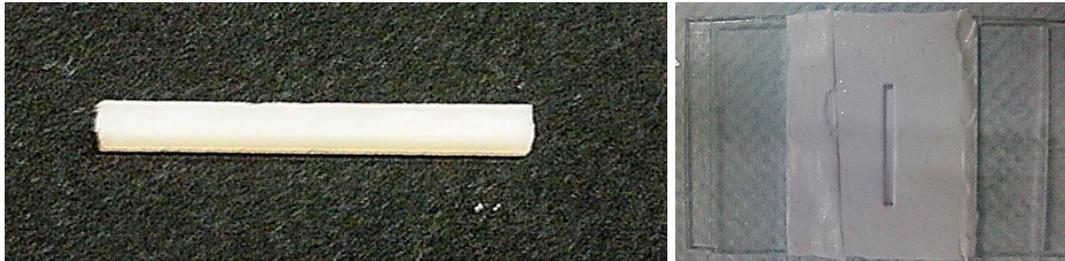


Figura 23. a) Muestra de resina compuesta que sirvió de modelo. b) Molde a base de silicona por condensación para la confección de muestras para la prueba de flexión. Fuente: Directa.

El protocolo de fotoactivación usado fue colocando la punta primero en el centro de la barra fotopolimerizando durante 40 segundos, posteriormente hacia un lado del molde y fotopolimerizando un ciclo, y para terminar se fotopolimerizó hacia el otro lado de la muestra. La muestra fue desprendida de manera suave, se colocó en un recipiente opaco a temperatura ambiente durante 24 horas. Pasado el tiempo, las muestras fueron medidas en su ancho y grosor, y registrado estos datos. Las muestras fueron llevadas a la máquina para realizar la prueba de flexión de 3 puntos con una velocidad de 1 mm/min. (Figura 24)

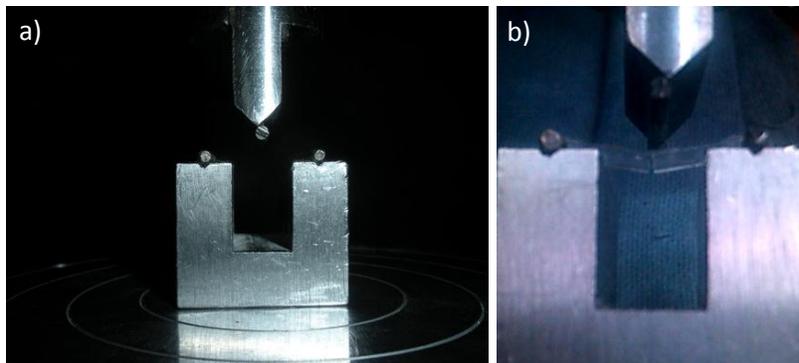
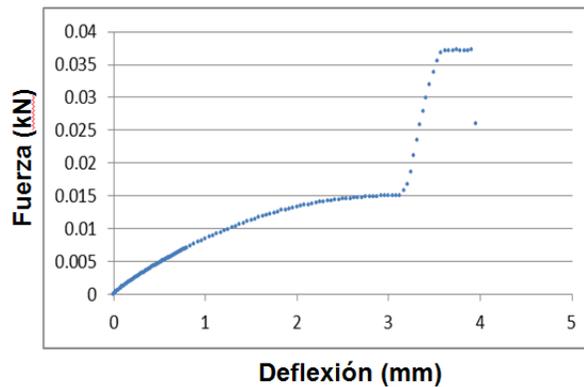


Figura 24. A) Aditamentos para la prueba de flexión de 3 puntos. b) Deflexión del material hasta la fractura. Fuente: Directa.

## Fórmulas para la obtención de la resistencia a la flexión y módulo elástico<sup>83</sup>

Los datos obtenidos de la prueba de flexión fueron almacenados en una base de datos, para posteriormente realizar una gráfica de fuerza-deflexión. (Gráfica 1).



Gráfica 1. Ejemplo de una gráfica fuerza-deflexión de las resinas experimentales.

Para el cálculo y expresión de los resultados de resistencia a la flexión ( $\sigma$ ), se calculó el esfuerzo de flexión en megapascales (MPa), con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{3 F \cdot L}{2 b \cdot h^2}$$

Dónde:

- F es la fuerza en newtons (N) ejercida sobre la muestra.
- L es la distancia entre los soportes en milímetros.
- b es el ancho de la muestra en milímetros.
- h es la altura o grosor de la muestra en milímetros.

Los resultados de módulo elástico (E) se calcularon en gigapascales (GPa), con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{F_1 \cdot L^3}{4 b \cdot h^3 \cdot d}$$

Dónde  $F_1$  es la carga en newtons en un punto conveniente de la porción recta de la curva esfuerzo-deflexión;  $d$ , es la deflexión en milímetros correspondiente a la carga  $F_1$ .

### **DETERMINACIÓN DEL ENCOGIMIENTO POR POLIMERIZACIÓN Y RAPIDEZ DE POLIMERIZACIÓN CON EL MÉTODO DE “BONDING DISC”<sup>76</sup>**

#### **Material y Equipos**

- Anillo de cobre de 1.24 mm de altura y 16 mm de diámetro interno.
- 2 Portaobjetos de 75 x 25 x 1 mm.
- Silicona por condensación fluido.
- Lámpara de fotoactivado Bluephase<sup>®</sup> C8 G2 (Ivoclar Vivadent<sup>®</sup>).
- Instrumento para medición de contracción por polimerización. (Figura 25).



Figura 25. Instrumento de medición de contracción por polimerización. Fuente: Directa.

Esta prueba se realizó en el Laboratorio de Investigación en Materiales Dentales, en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Odontología, UNAM.

### **Procedimiento**

Primeramente, se obtuvo una muestra de resina compuesta de forma cilíndrica de 10 mm de diámetro por 2 mm de grosor, para confeccionar el molde para la prueba de contracción. Se coloca un anillo de cobre de 2 mm de grosor sobre un portaobjeto, para poner material de silicona por condensación fluido dentro del anillo de cobre hasta sobrellenarlo, enseguida se colocó la muestra de resina compuesta en el centro, se cubre con una cinta de polipropileno y un portaobjetos para ejercer presión y eliminar el excedente. Una vez que polimeriza la silicona, se extrae la muestra de resina compuesta, dejando un molde de silicona por condensación. (Figura 26).

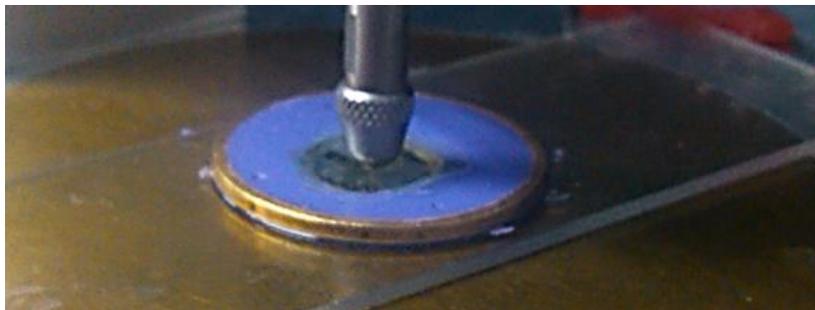


Figura 26. Molde de silicona para la prueba de contracción. Fuente: Directa.

Ya obtenido el molde, se procedió a la prueba de contracción. Se colocó resina experimental dentro del molde hasta sobrellenarlo, en seguida se cubrió con una cinta de polipropileno de 12 mm de diámetro y un portaobjetos para eliminar el excedente de resina, cuidando que el espesor de la muestra coincidiera con la altura del anillo de bronce. Se retiró el portaobjetos y se llevó el molde al instrumento de medición de contracción, haciendo coincidir el espacio de la muestra con la ventana de la punta de la lámpara.

La punta del transductor de desplazamiento se bajó hasta estar en íntimo contacto con la superficie de la cinta de polipropileno. Se calibró entre 0 y 100 mV antes que la muestra fuera irradiada por debajo del portaobjetos con la lámpara durante 40 segundos. (Figura 27).

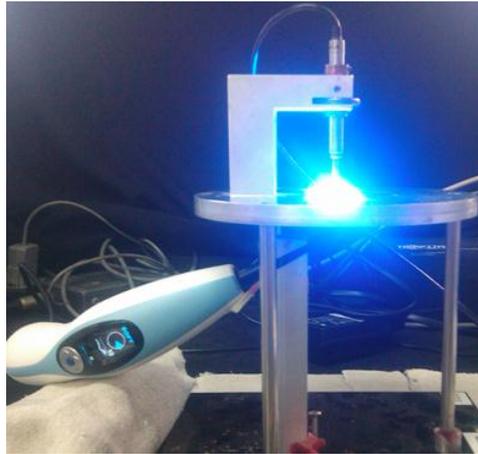


Figura 27. Fotoactivación de la resina experimental en la prueba de contracción por polimerización. Fuente: Directa.

Al momento de la fotoactivación se inicia el registro de valores hasta llegar a 1200 segundos.

El armazón del transductor de desplazamiento LVDT se desplaza por el armazón micrométrico de un micrómetro digital con una sensibilidad mayor a  $0.1 \mu\text{m}$  (Mitutoyo, Tokyo, Japón) a través de los incrementos conocidos ( $\mu\text{m}$ ), mientras que el voltaje de salida del transductor (mV) es registrado en la unidad de almacenamiento de memoria en un software de adquisición de datos (PICO ADC-16, Pico Technology Ltd, Hardwick, Cambridge, RU). El factor de calibración voltaje-desplazamiento es calculado por una regresión lineal y el valor de K es medido en  $\text{mV}/\mu\text{m}$ .

### **Fórmulas para la obtención del porcentaje de encogimiento y rapidez de polimerización**

El cálculo del encogimiento por polimerización se dio por la adhesión por parte de la resina experimental a la cinta de polipropileno, ya que la polimerización de la resina permitió la deflexión de la cinta, tomando esto como contracción por polimerización. La deflexión fue monitoreada durante el tiempo de la prueba (1200 segundos) por el transductor LVDT. El transductor estuvo conectado a una unidad de adquisición de datos. La deflexión por la contracción está definida por:

$$\Delta L = L_0 - L_t$$

Donde  $L_0$  es igual a 1.24 mm y  $L_t$  es el espesor a determinado tiempo. Estos cálculos son relacionados a los valores de salida de voltaje y al factor de calibración (k) del voltaje-desplazamiento por la siguiente fórmula:

$$L_t = (V_t - V_{t=0}) / K$$

Donde  $V_t$  es el voltaje obtenido a cualquier momento de la prueba, y  $V_{t=0}$  es el voltaje inicial en el segundo 0. El porcentaje de encogimiento por polimerización (S) fue calculado de la siguiente manera:

$$S = 100 \Delta L / L_0$$

La rapidez de polimerización se observó inmediatamente después de la activación de la luz sobre el material, la pendiente inicial de la línea recta representa la rapidez de polimerización ( $V_s$ ) de la gráfica  $\Delta L$ -t.

## 4. Descripción y Análisis de Resultados

### IRRADIANCIA DE LA LÁMPARA DE FOTOACTIVADO

Los resultados de la irradiancia y el cálculo de la densidad de energía obtenida de la lámpara se observan en la tabla 6.

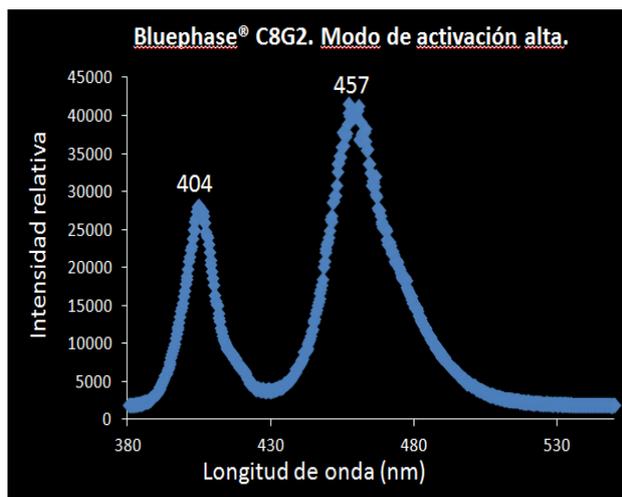
Tabla 6. Irradiancia y densidad de energía de la lámpara Bluephase<sup>®</sup> C8 G2.

Modo de fotoactivación	Código en lámpara	Tiempo del ciclo de luz (segundos)	Irradiancia (mW/cm <sup>2</sup> )	Densidad de energía (J/cm <sup>2</sup> )
Continuo alto	High	20	500	10
Continuo bajo	Low	20	300	6
Inicio suave	Soft	20	300-500	9

### LONGITUD DE ONDA EMITIDA POR LA LÁMPARA

Se muestra en la gráfica 2 dos máximas de absorción del espectro emitido por la lámpara, la primera en una longitud de onda a los 404 nm, y la segunda a los 457 nm.

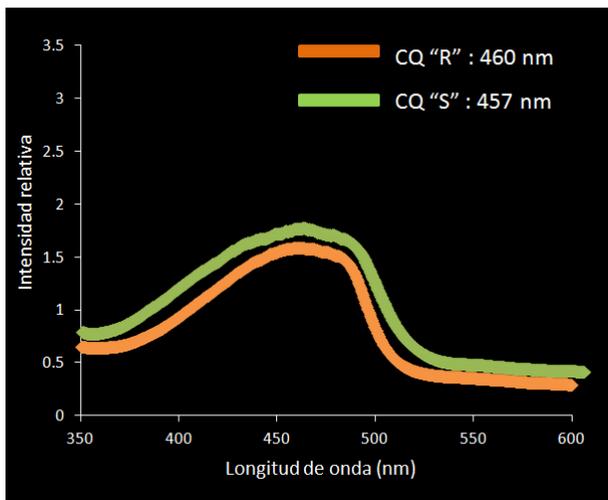
Gráfica 2. Espectro de absorción emitido por la lámpara Bluephase<sup>®</sup> C8 G2 en modo continuo (High).



## ESPECTROS DE ABSORCIÓN DE LOS FOTOINICIADORES

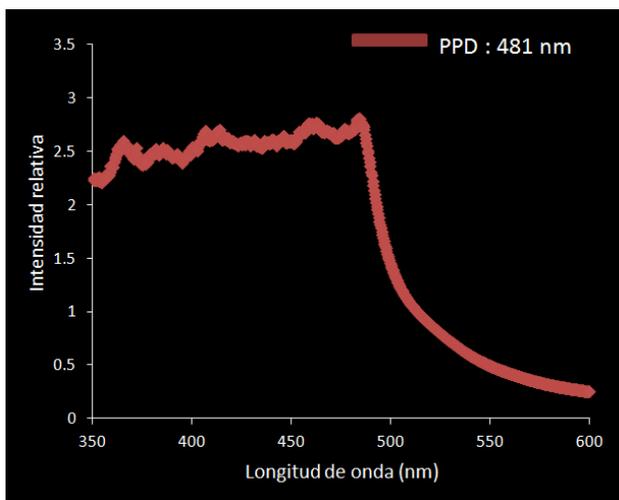
Los resultados se observan en las gráficas 3 y 4.

Gráfica 3. Espectro de absorción de los enantiómeros de la Camforoquinona.



Se observa una máxima de absorción a los 460 nm para la Camforoquinona R, mientras que para la Camforoquinona S, su máxima de absorción es de 457 nm.

Gráfica 4. Espectro de absorción de la Fenilpropanodiona.



Se observa en la gráfica que la Fenilpropanodiona tiene un área de absorción que abarca el espectro ultravioleta y se introduce hacia el espectro de luz visible hasta los 481 nm.

## IDENTIFICACIÓN DE LAS BANDAS DEL TMPTMA EN EL ESPECTRO DE FTIR-ATR

La identificación de las bandas se llevó a cabo en transmitancia. (Figura 28).

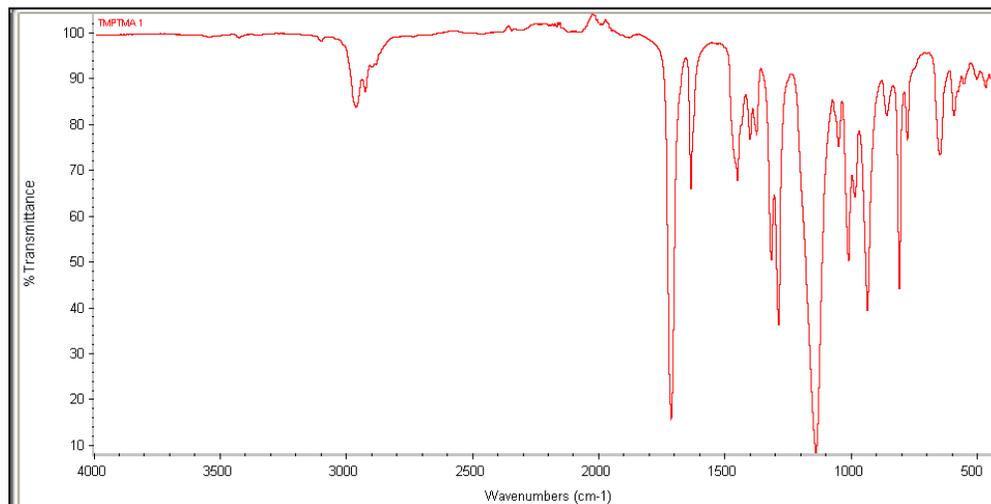


Figura 28. Espectro infrarrojo del monómero TMPTMA.

Tabla 7. Región  $3000\text{ cm}^{-1}$  a  $2500\text{ cm}^{-1}$  del espectro del TMPTMA. (Figura 29).

Banda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Absorciones de enlaces
2964	Estiramiento antisimétrico del grupo $-\text{CH}_3$ . Esta vibración se encuentra siempre en el rango $2962 \pm 10\text{ cm}^{-1}$ .
2926	Absorben los $\text{CH}_2$ con estiramiento antisimétrico. El rango normal es $2926 \pm 10\text{ cm}^{-1}$ .

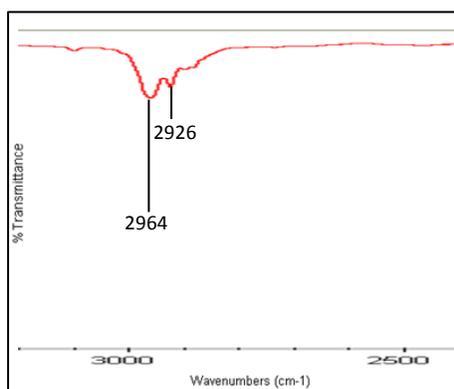


Figura 29. Región  $3000\text{ cm}^{-1}$  a  $2500\text{ cm}^{-1}$  del espectro del TMPTMA.

Tabla 8. Región  $1750\text{ cm}^{-1}$  a  $1600\text{ cm}^{-1}$  del espectro del TMPTMA. (Figura 30).

Banda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Absorciones de enlaces
1716	Modo de estiramiento del C=O. La cantidad de acoplamiento depende del ángulo de C-C(O)-C.
1638	Absorben los C=C con estiramiento.

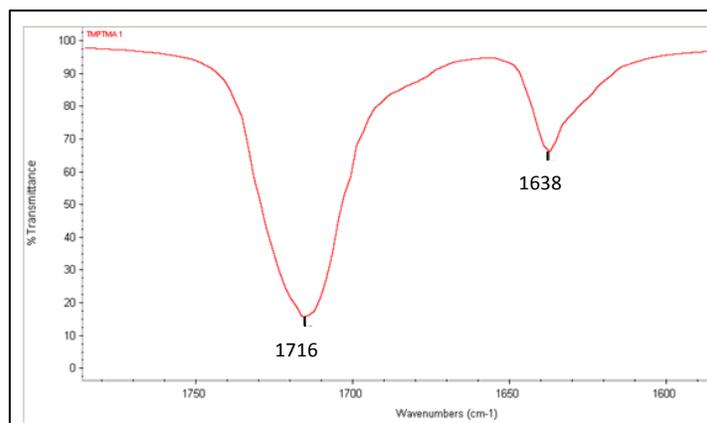


Figura 30. Región  $1750\text{ cm}^{-1}$  a  $1600\text{ cm}^{-1}$  del espectro del TMPTMA.

Tabla 9. Región  $1500\text{ cm}^{-1}$  a  $1250\text{ cm}^{-1}$  del espectro del TMPTMA. (Figura 31).

Banda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Absorciones de enlaces
1454	Banda relacionada al $\text{CH}_3$ en modo flexión antisimétrica.
1403	Modo de flexión en tijera del $-\text{CH}_2$ .
1320	Corresponde a grupos $\text{CH}_2$ en modo de flexión.
1290	Modo de estiramiento entre O-C(O)-C.

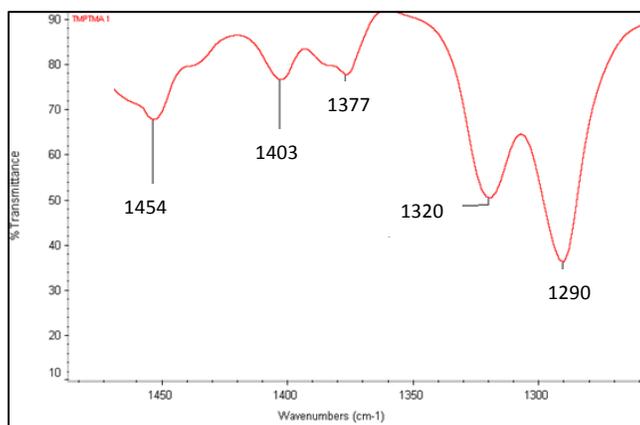


Figura 31. Región  $1500\text{ cm}^{-1}$  a  $1250\text{ cm}^{-1}$  del espectro del TMPTMA.

Tabla 10. Región  $1200\text{ cm}^{-1}$  a  $850\text{ cm}^{-1}$  del espectro del TMPTMA. (Figura 32).

Banda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Absorciones de enlaces
1142	Modo de estiramiento del C-O.
1052	Modo de estiramiento de C-O, cuando se encuentra acoplado el C a otro C.
988	Banda relacionada al $\text{C}=\text{CH}_2$ en modo de giro fuera del plano.
938	Modo de flexión fuera del plano del $\text{C}=\text{CH}_2$ .
861	Movimiento de meneo (wagging) del grupo terminal $\text{CH}_2$ .

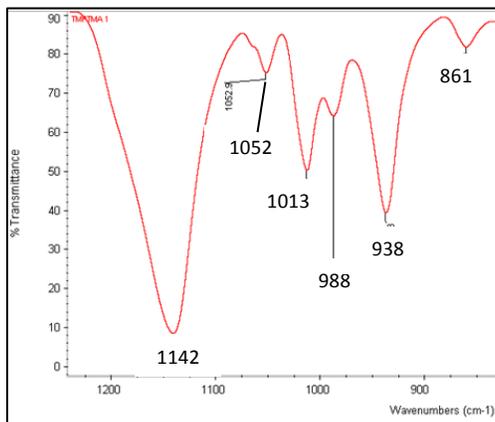


Figura 32. Región  $1200\text{ cm}^{-1}$  a  $850\text{ cm}^{-1}$  del espectro del TMPTMA.

## IDENTIFICACIÓN DE LAS BANDAS DEL UDMA EN EL ESPECTRO DEL FTIR-ATR

La identificación de las bandas se llevó a cabo en transmitancia. (Figura 33).

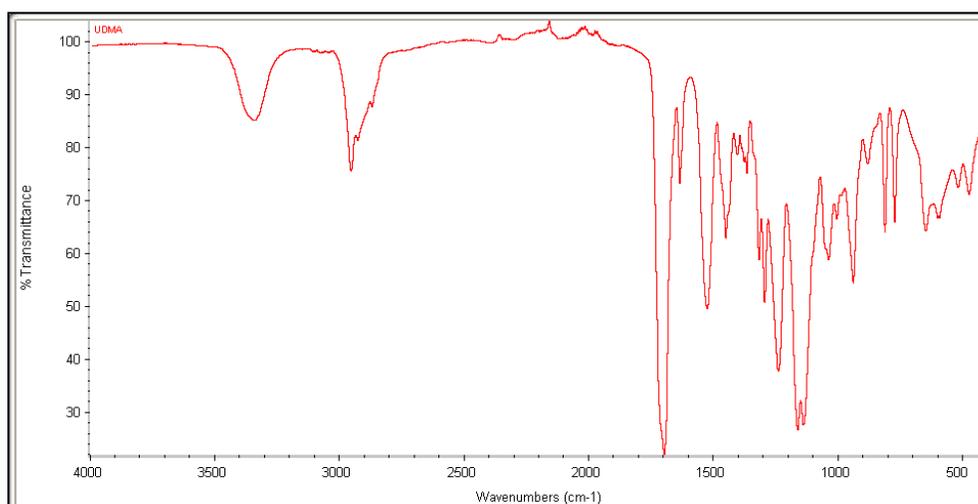


Figura 33. Espectro infrarrojo del monómero UDMA.

Tabla 11. Región  $3400\text{ cm}^{-1}$  a  $2800\text{ cm}^{-1}$  del espectro del UDMA. (Figura 34).

Banda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Absorciones de enlaces
3349	Modo vibracional en estiramiento del N-H.
2957	Modo vibracional en estiramiento antisimétrico del $-\text{CH}_3$ .
2905	Modo del C-H en estiramiento.
2870	Absorben los $-\text{CH}_3$ con estiramiento simétrico. El rango normal es $2872 \pm 10\text{cm}^{-1}$ .

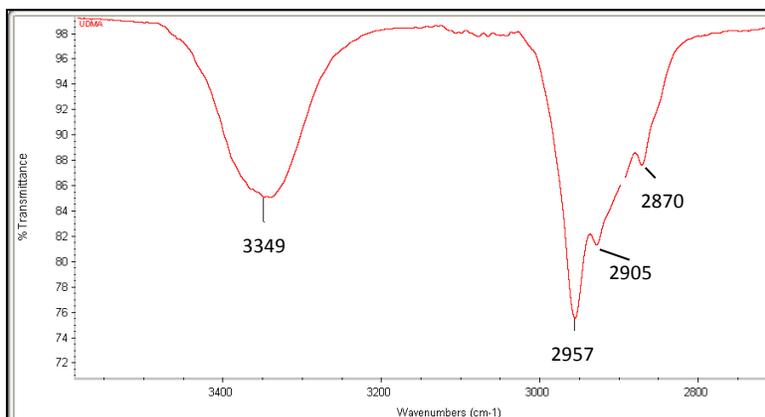


Figura 34. Región  $3400\text{ cm}^{-1}$  a  $2800\text{ cm}^{-1}$  del espectro del UDMA.

Tabla 12. Región  $1850\text{ cm}^{-1}$  a  $1600\text{ cm}^{-1}$  del espectro del UDMA. (Figura 35).

Banda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Absorciones de enlaces
1698	Modo de estiramiento del $\text{C}=\text{O}$ .
1637	Absorben los $\text{C}=\text{C}$ con estiramiento.

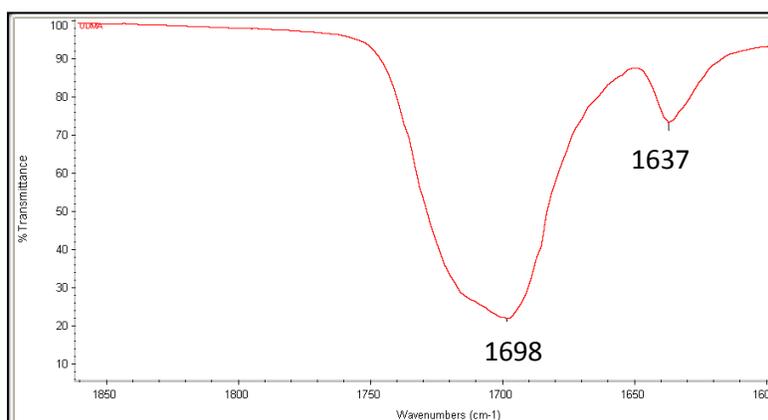


Figura 35. Región  $1850\text{ cm}^{-1}$  a  $1600\text{ cm}^{-1}$  del espectro del UDMA.

Tabla 13. Región 1550  $\text{cm}^{-1}$  a 1200  $\text{cm}^{-1}$  del espectro del UDMA. (Figura 36).

Banda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Absorciones de enlaces
1528	Modo de flexión N-H.
1453	Modo de flexión antisimétrico de $\text{CH}_3$ .
1406	Modo de flexión en tijera de $\text{CH}_2$ .
1368	Modo de flexión en paraguas de $\text{CH}_3$ .
1320	Modo de flexión de $\text{CH}_2$ .
1297	Modo de estiramiento entre O-C(O)-C.
1241	Absorbancia del enlace C-N.

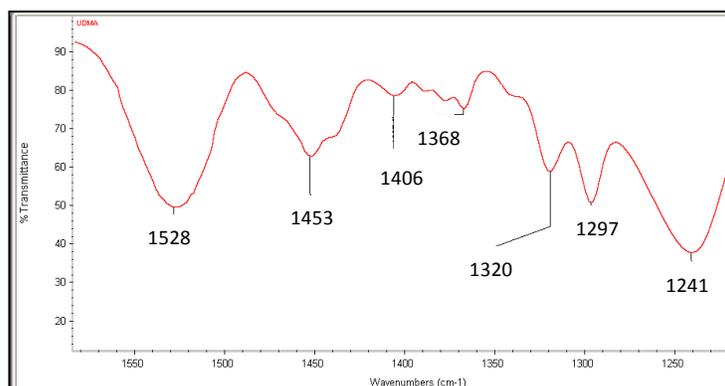


Figura 36. Región 1550  $\text{cm}^{-1}$  a 1200  $\text{cm}^{-1}$  del espectro del UDMA.

Tabla 14. Región 1200  $\text{cm}^{-1}$  a 600  $\text{cm}^{-1}$  del espectro del UDMA. (Figura 37).

Banda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Absorciones de enlaces
1164	Enlaces C-O.
1140	Modo de estiramiento del C-O.
1039	Modo de estiramiento de C-O, cuando se encuentra acoplado el C a otro C.
940	Modo de flexión fuera del plano del $\text{C}=\text{CH}_2$ .
883	Movimiento de meneo (wagging) del grupo terminal $\text{CH}_2$ .
814	Modo de aleteo del $\text{C}=\text{C}$ .

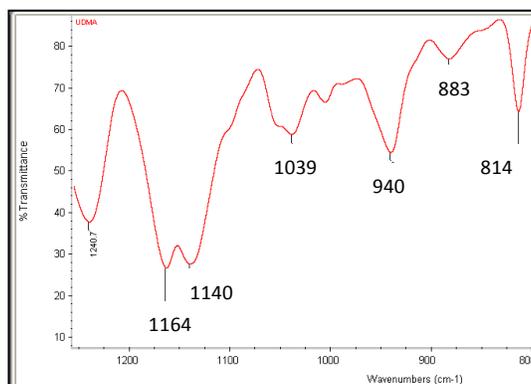


Figura 37. Región 1200  $\text{cm}^{-1}$  a 800  $\text{cm}^{-1}$  del espectro del UDMA.

## GRADO DE CONVERSIÓN CALCULADO A TRAVÉS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER

Los resultados fueron analizados con el programa Sigma Stat<sup>®</sup>, donde se sometió a una prueba de normalidad para la decisión del tipo de prueba estadística a emplear. En los datos obtenidos para la determinación del porcentaje de grado de conversión con FTIR-ATR, los datos de TMPTMA como de UDMA presentaron normalidad. Por lo cual se realizaron pruebas de Anova de una vía y posteriormente una prueba de Tukey, la cual indicaría las diferencias estadísticas entre un grupo y otro.

### GRADO DE CONVERSIÓN DE RESINAS PREPARADAS CON TMPTMA

En la Tabla 15 se muestran los resultados de las medias del porcentaje de grado de conversión obtenido con FTIR-ATR para las resinas preparadas con TMPTMA, así como la desviación estándar. Se han colocado letras en minúsculas en cada fila de concentración, expresando que si hay letras minúsculas diferentes, en una fila, hay diferencias estadísticamente significativas entre los fotoiniciadores a esa misma concentración. Además, se han colocado también letras mayúsculas en cada columna de fotoiniciador, letras mayúsculas diferentes denotarán diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de concentraciones en cada fotoiniciador.

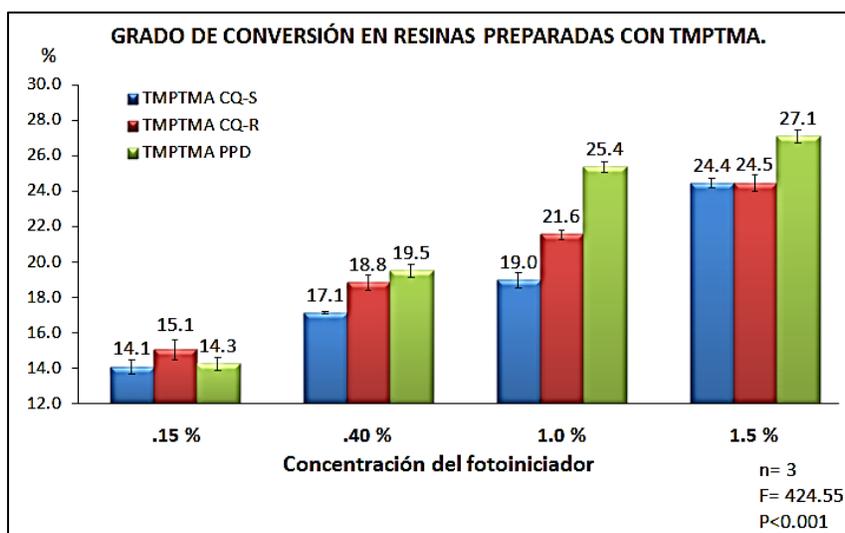
Tabla 15. Resultados del porcentaje (%) de grado de conversión en resinas con TMPTMA. Fuente: Directa.

Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
0.15 %	14.1 ±0.4 <sub>aA</sub>	15.1 ±0.6 <sub>aA</sub>	14.3 ±0.4 <sub>aA</sub>
0.40 %	17.1 ±0.1 <sub>aB</sub>	18.8 ±0.4 <sub>bB</sub>	19.5 ±0.4 <sub>bB</sub>
1.00 %	19.0 ±0.5 <sub>aC</sub>	21.6 ±0.3 <sub>bC</sub>	25.4 ±0.3 <sub>cC</sub>
1.50 %	24.4 ±0.3 <sub>aD</sub>	24.5 ±0.5 <sub>aD</sub>	27.1 ±0.4 <sub>bD</sub>

Medias, ± Desviación estándar.

Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.



Gráfica 5. Grado de conversión de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

A una concentración de fotoiniciador de 0.15 %, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores.

A un porcentaje de 0.40 %, el mayor grado de conversión lo presentaron la resina preparada con PPD (19.5 %) y CQ-R (18.8 %). Solo CQ-S fue diferente estadísticamente con respecto a los otros dos fotoiniciadores.

A una concentración de 1.0 % PPD presentó el mayor valor de porcentaje de grado de conversión (25.4 %), CQ-R le siguió con 21.6 %, y con menor valor CQ-S. En esta concentración hubo diferencias estadísticamente entre los tres fotoiniciadores.

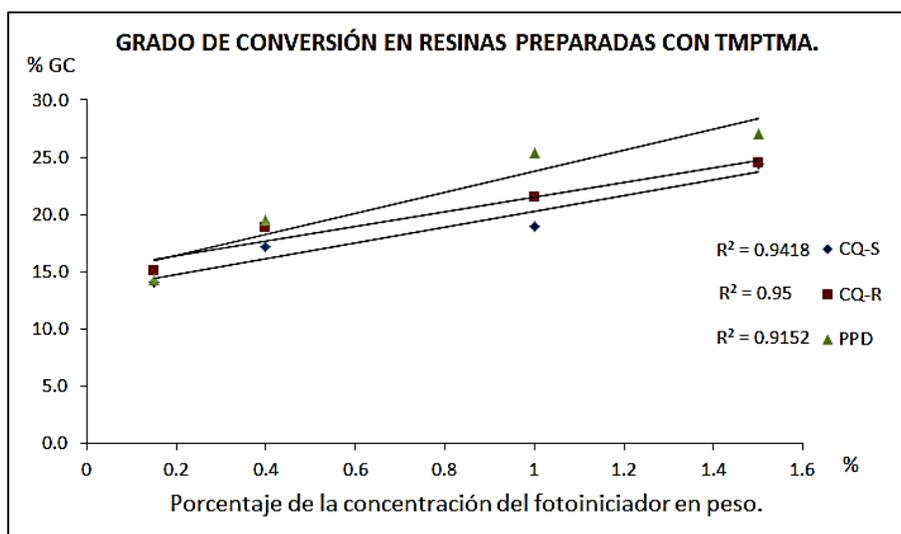
A la concentración de 1.5 % el mayor valor de conversión lo obtuvo PPD con 27.1 %, seguido por CQ-R y CQ-S; no hubo diferencias estadísticas entre los dos enantiómeros de la Camforoquinona, pero sí de las dos Camforoquinonas con PPD.

En los tres fotoiniciadores se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sus grupos de concentración.

El mayor grado de conversión se logró en las resinas preparadas con TMPTMA empleando PPD (28.6 % a una concentración del 1.5 %). El menor porcentaje fue utilizando cualquier fotoiniciador a la concentración de 0.15 %.

En el caso de los enantiómeros de Camforoquinona, CQ-R presentó mayores valores de porcentaje de grado de conversión con respecto a CQ-S. Hubo diferencias estadísticamente significativas entre ellos en las concentraciones de 0.40 % y 1.0 %. La mayor diferencia entre los valores de CQ-R y CQ-S se observó al 1.0%.

Existe una correlación de la concentración de los tres fotoiniciadores con el grado de conversión con las resinas preparadas con TMPTMA. CQ-R presentó una correlación de  $R^2 = 0.95$ , CQ-S una correlación de  $R^2 = 0.94$ , y PPD una correlación de  $R^2 = 0.92$ . (Gráfica 6).



Gráfica 6. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el grado de conversión de las resinas preparadas con TMPTMA. Fuente: Directa.

## **GRADO DE CONVERSIÓN DE RESINAS PREPARADAS CON UDMA**

En la Tabla 16 se muestran los resultados de las medias del porcentaje de grado de conversión obtenido con FTIR-ATR para las resinas preparadas con UDMA, así como la desviación estándar. Se han colocado letras en minúsculas en cada fila de concentración, expresando que si hay letras minúsculas diferentes, en una fila, hay diferencias estadísticamente significativas entre los fotoiniciadores a esa misma concentración. Además, se han colocado también letras mayúsculas en cada columna de fotoiniciador, letras mayúsculas diferentes denotarán diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de concentraciones en cada fotoiniciador.

Tabla 16. Resultados del porcentaje (%) de grado de conversión en resinas con UDMA. Fuente: Directa.

<b>Concentración del fotoiniciador</b>	<b>Mezcla de Resina con CQ-S</b>	<b>Mezcla de Resina con CQ-R</b>	<b>Mezcla de Resina con PPD</b>
<b>0.15 %</b>	45.7 ±0.8 <sub>aA</sub>	46.9 ±0.4 <sub>aA</sub>	49.2 ±0.4 <sub>bA</sub>
<b>0.40 %</b>	56.0 ±1.3 <sub>aB</sub>	57.2 ±0.2 <sub>aB</sub>	56.7 ±0.2 <sub>aB</sub>
<b>1.00 %</b>	64.6 ±0.3 <sub>aC</sub>	67.7 ±0.4 <sub>bC</sub>	61.4 ±0.3 <sub>cC</sub>
<b>1.50 %</b>	71.0 ±0.3 <sub>aD</sub>	73.2 ±1.5 <sub>aD</sub>	65.1 ±0.3 <sub>bD</sub>

Medias, ± Desviación estándar.

Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

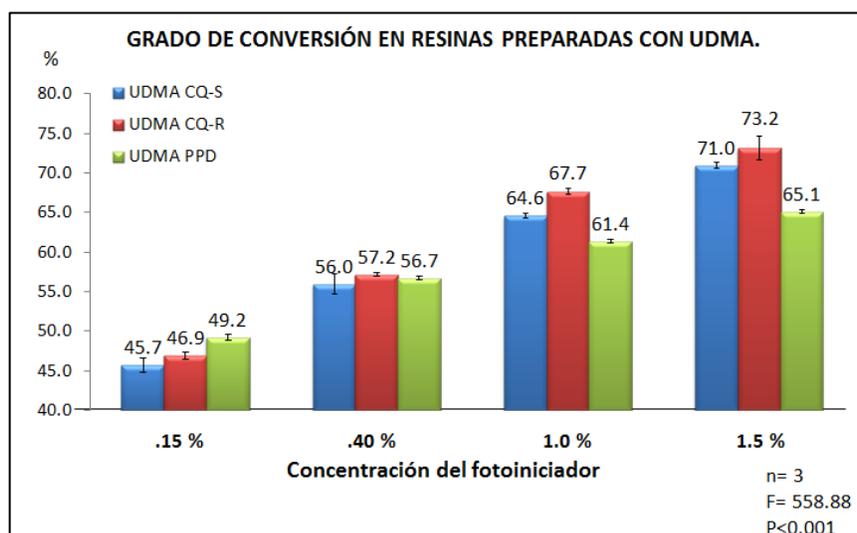
Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

A concentración de fotoiniciador de 0.15 %, la resina preparada con PPD obtuvo mayor porcentaje de grado de conversión (49.2 %), seguido de CQ-R y CQ-S; estadísticamente no hubo diferencias significativas entre ambas Camforoquinonas pero si entre CQ-S y PPD.

Al porcentaje de 0.40 %, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores.

A concentración de 1.0 % CQ-R mostró mayor valor de porcentaje de grado de conversión (67.7 %) que CQ-S (64.6 %), y esta fue mayor que PPD con 61.4 %. En esta concentración hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores.

A concentración de 1.5 %, el mayor valor de conversión lo obtuvieron las dos Camforoquinonas, CQ-R con 73.2 %, seguido por CQ-S con 71.0 % y después por PPD, la cual tuvo diferencias estadísticamente con los enantiómeros de la Camforoquinona. (Gráfica 7).



Gráfica 7. Grado de conversión de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

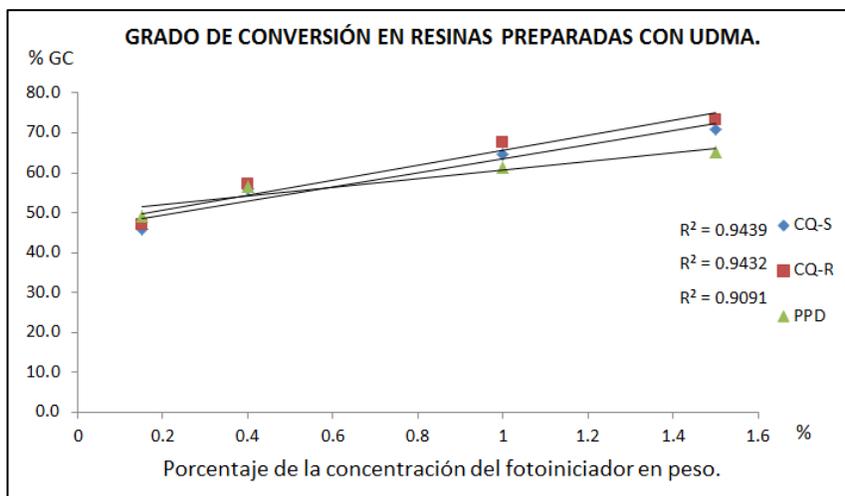
Hay diferencias estadísticamente significativas en cada fotoiniciador con respecto a sus concentraciones.

El mayor porcentaje de conversión en las resinas preparadas con UDMA se obtuvo empleando como fotoiniciador CQ-R al alcanzar 73.2 % y CQ-S con 71.0 % a una concentración de 1.5 %. El menor porcentaje fue usando los enantiómeros de la Camforoquinona a concentración de 0.15 %.

En el caso de los enantiómeros de Camforoquinona, CQ-R presentó mayores valores de porcentaje de grado de conversión con respecto a CQ-S únicamente al emplear una concentración de 1.0 %.

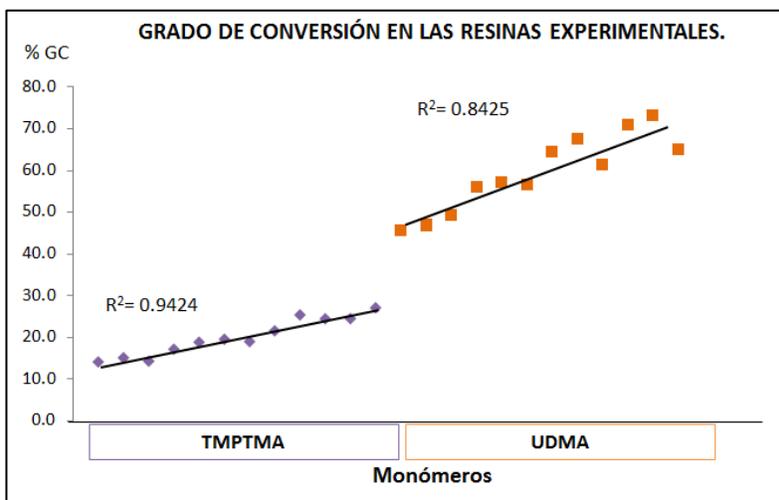
Existe una correlación buena de la concentración de los tres fotoiniciadores con el grado de conversión con las resinas preparadas con UDMA. Al incrementar la concentración del fotoiniciador también se incrementa el grado de conversión. Las

dos Camforoquinonas presentan una correlación de  $R^2 = 0.94$ , y PPD una correlación de  $R^2 = 0.91$ . (Gráfica 8).



Gráfica 8. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el grado de conversión de las resinas preparadas con UDMA. Fuente: Directa.

Las resinas experimentales a base de TMPTMA con los tres fotoiniciadores y en las cuatro concentraciones diferentes presentaron un rango de grado de conversión de 14.1 a 27.1 %, mientras que las resinas experimentales a base de UDMA tuvieron un rango de grado de conversión de 45.7 a 73.2 %. (Gráfica 9).



Gráfica 9. Grado de conversión de las resinas preparadas con TMPTMA y UDMA. Fuente: Directa.

## DUREZA VICKERS

Después de las pruebas piloto, se determinó que la carga y el tiempo a emplear serían de 1000 gf y 15 segundos para la identificación de una huella confiable para la obtención de las diagonales. (Figura 38).



Figura 38. Huella observada en la muestra de resina. Fuente: Directa.

Se usó la prueba de Kruskal-Wallis (prueba H) a través del programa Sigma Stat<sup>®</sup> para determinar las diferencias estadísticas en los datos obtenidos de la prueba de dureza, ya que los resultados no presentaron normalidad. Posteriormente se empleó una prueba de correlación múltiple para indicar las diferencias estadísticas entre grupos.

## DUREZA DE LAS RESINAS PREPARADAS CON TMPTMA

Los resultados de la dureza superficial obtenida con el método Vickers para las resinas preparadas con TMPTMA se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados de dureza Vickers (HV) en resinas con TMPTMA.

Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
0.15 %	5.6 ±0.4 <sub>aA</sub>	8.9 ±2.7 <sub>bA</sub>	5.8 ±0.6 <sub>aA</sub>
0.40 %	17.6 ±2.3 <sub>aB</sub>	18.0 ±5.2 <sub>aB</sub>	15.3 ±1.2 <sub>aB</sub>
1.00 %	25.6 ±6.5 <sub>aC</sub>	29.8 ±5.8 <sub>bC</sub>	23.1 ±1.4 <sub>aC</sub>
1.50 %	32.2 ±6.7 <sub>aD</sub>	37.5 ±5.4 <sub>bD</sub>	35.0 ±6.4 <sub>abD</sub>

Medias, ± Desviación estándar.

Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

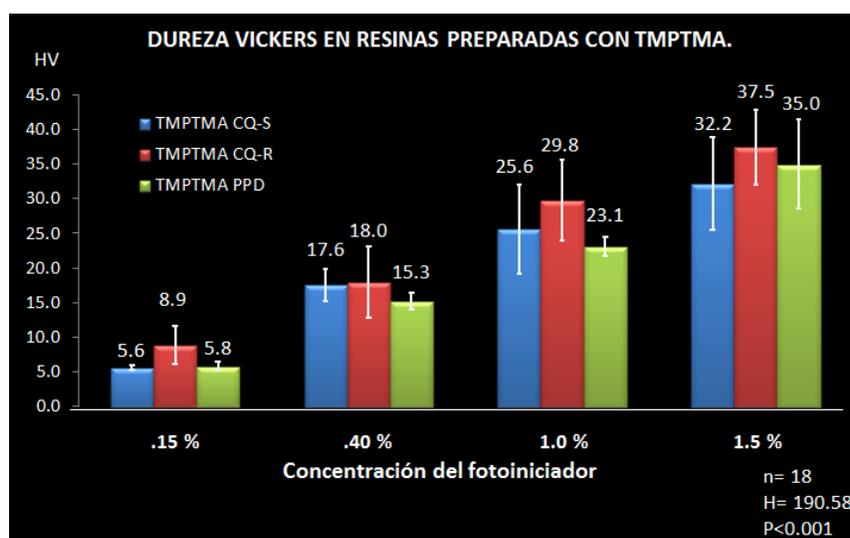
Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

A concentración del fotoiniciador de 0.15 %, la resina preparada con CQ-R mostró 8.9 HV, seguido de PPD con 5.8 HV y de CQ-S con 5.6 HV; no habiendo diferencias estadísticamente significativas entre CQ-S y PPD, pero sí de estas dos con CQ-R.

A porcentaje de 0.40 %, la dureza fue parecida con los tres fotoiniciadores, por lo cual no hubo diferencias estadísticamente significativas.

A concentración de 1.0 %, CQ-R presentó mayor dureza superficial (29.8 HV) que CQ-S y PPD, las cuales fueron iguales. En esta concentración CQ-R fue diferente estadísticamente frente a los otros fotoiniciadores.

A concentración de 1.5 %, el mayor valor de dureza lo obtuvo CQ-R con 37.5 HV, seguido por PPD y después por CQ-S. El paquete estadístico menciona que la diferencia estadística estuvo entre CQ-R frente a CQ-S. (Gráfica 10).



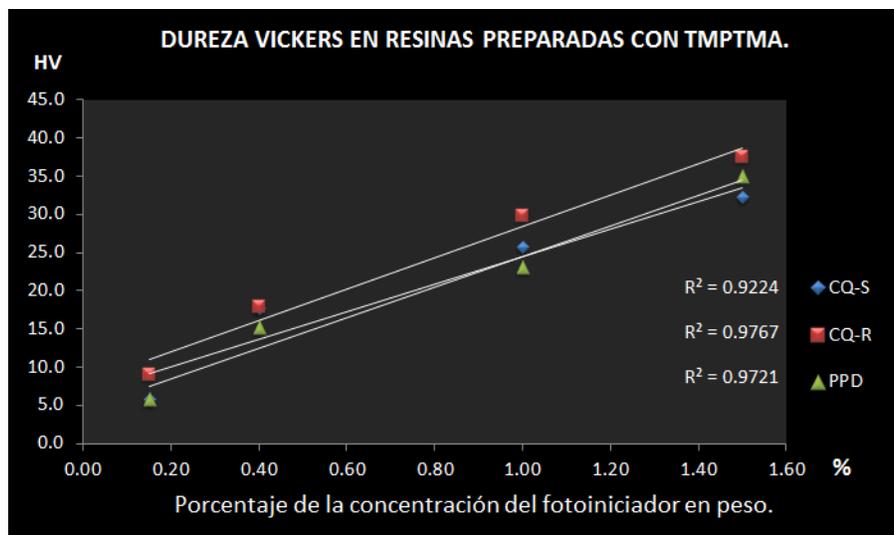
Gráfica 10. Dureza Vickers de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

Hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de concentraciones de cada fotoiniciador. La resina con CQ-R presentó la mayor dureza a 0.15 %, 1.0 % y 1.5 %, la mayor dureza fue de 37.5 HV a una

concentración de 1.5 %. Mientras que la menor dureza fue con CQ-S y PPD a concentración de 0.15 %.

En los enantiómeros de Camforoquinona, CQ-R presentó mayores valores de dureza Vickers con respecto a CQ-S, mostrando diferencias estadísticamente significativas. La mayor diferencia entre los valores de CQ-R y CQ-S se observó al 1.5 % de concentración.

Se presenta una correlación buena de la concentración de los tres fotoiniciadores con la dureza de las resinas preparadas con TMPTMA. Al incrementar la concentración del fotoiniciador también se incrementa la dureza. La CQ-R presenta una correlación de  $R^2 = 0.98$ , PPD una correlación de  $R^2 = 0.97$ , mientras que CQ-S una correlación de  $R^2 = 0.92$ . (Gráfica 11).



Gráfica 11. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con la dureza de las resinas preparadas con TMPTMA. Fuente: Directa.

## DUREZA DE LAS RESINAS PREPARADAS CON UDMA

En la tabla 18 se muestran los resultados de la dureza superficial obtenida con el método Vickers para las resinas preparadas con UDMA.

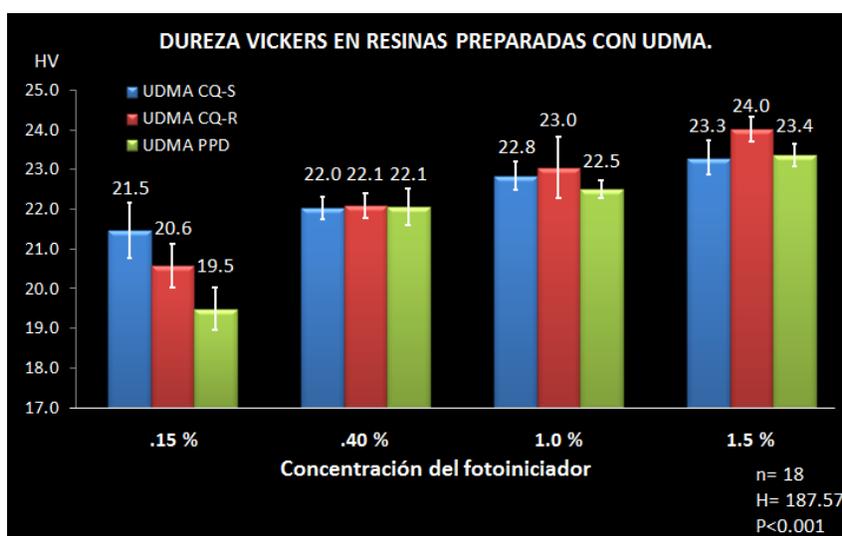
Tabla 18. Resultados de dureza Vickers (HV) en resinas con UDMA.

Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
<b>0.15 %</b>	21.5 ±0.7 <sub>aA</sub>	20.6 ±0.6 <sub>aA</sub>	19.5 ±0.5 <sub>aA</sub>
<b>0.40 %</b>	22.0 ±0.3 <sub>aA</sub>	22.1 ±0.3 <sub>aB</sub>	22.1 ±0.5 <sub>aB</sub>
<b>1.00 %</b>	22.8 ±0.4 <sub>aB</sub>	23.0 ±0.8 <sub>aBC</sub>	22.5 ±0.2 <sub>aC</sub>
<b>1.50 %</b>	23.3 ±0.4 <sub>aB</sub>	24.0 ±0.3 <sub>aC</sub>	23.4 ±0.3 <sub>aD</sub>

Medias, ± Desviación estándar.

Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.



Gráfica 12. Dureza Vickers de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración.

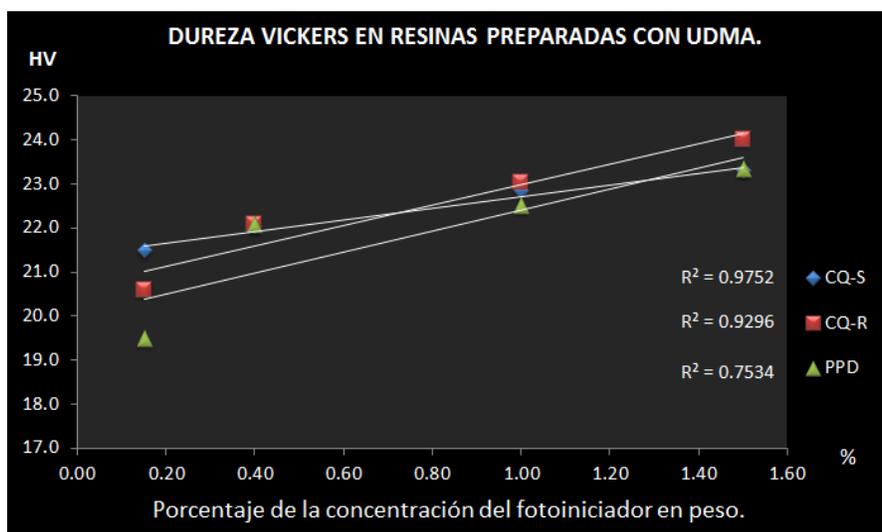
En cada una de las cuatro concentraciones de fotoiniciador empleadas en este estudio (0.15 %, 0.40 %, 1.0 % y 1.5 %) la prueba estadística indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de fotoiniciadores. (Gráfica 12).

En las mezclas de resina con CQ-S, solamente no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre dos grupos de concentraciones, 0.15 % y 0.40%, y, 1.0 % y 1.5 %. En las mezclas de resina con CQ-R, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre 1.0 % y 1.5 %. Y en las mezclas de PPD las cuatros concentraciones fueron estadísticamente significativas.

La mayor dureza en las resinas preparadas con UDMA se obtuvo empleando como fotoiniciador CQ-R alcanzando 24.0 HV a una concentración de 1.5 %. Mientras que la menor dureza fue empleando PPD a una concentración de 0.15 % con 19.5 HV.

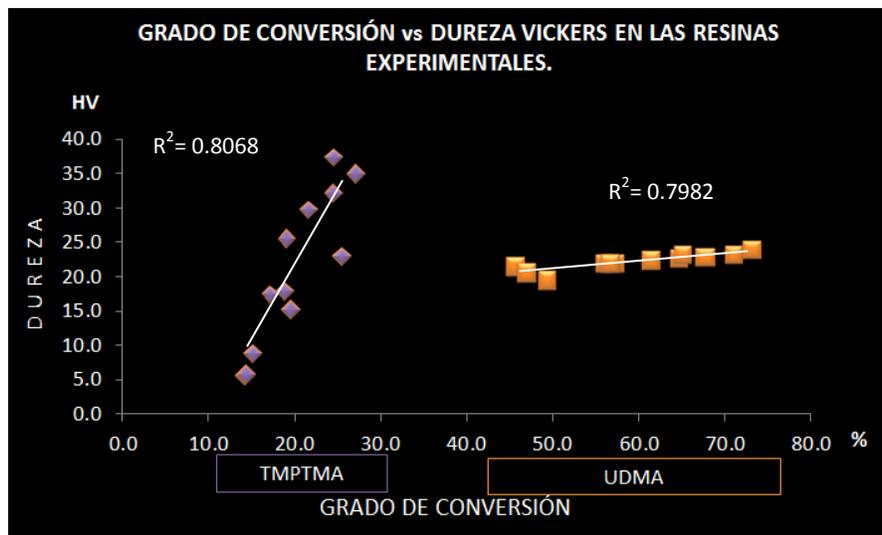
En el caso de los enantiómeros de Camforoquinona, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos fotoiniciadores.

Al observar la influencia de la concentración de cada fotoiniciador, se puede notar el incremento de la dureza superficial al aumentar la concentración en los tres fotoiniciadores. La CQ-S con una correlación de  $R^2 = 0.98$ , CQ-R con una correlación de  $R^2 = 0.93$ , y PPD con una correlación de  $R^2 = 0.75$ . (Gráfica 13).



Gráfica 13. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con la dureza de las resinas preparadas con UDMA. Fuente: Directa.

Al emplear los tres tipos de fotoiniciadores y las cuatro concentraciones en este estudio, las mezclas de resina a base de TMPTMA presentaron un intervalo de grado de conversión de 14.1 % a 27.1 % y un intervalo de dureza de 5.6 HV a 37.5 HV, con una correlación de  $R^2 = 0.81$ . Mientras que las mezclas de resina preparadas con UDMA presentaron un intervalo de grado de conversión de 45.7 % a 73.2 % y un intervalo de dureza de 19.5 HV a 24.0 HV, con una correlación de  $R^2 = 0.80$ . En ambos monómeros se observó que a mayor grado de conversión mayor será la dureza.



Gráfica 14. Grado de conversión vs Dureza Vickers en las resinas experimentales.  
Fuente: Directa.

## RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Los resultados fueron analizados con el programa Sigma Stat®. En los datos obtenidos de TMPTMA como de UDMA para la determinación de la resistencia a la flexión tanto no presentaron normalidad. Por lo cual se realizó una prueba de Kruskal-Wallis (prueba H) y posteriormente una prueba de correlación múltiple, para indicar las diferencias estadísticas entre grupos.

### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE RESINAS PREPARADAS CON TMPTMA

Los resultados de la resistencia a la flexión en Megapascuales (MPa) de los grupos de resinas preparadas a base de TMPTMA se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Resultados de la resistencia a la flexión (MPa) en resinas con TMPTMA.

Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
0.15 %	9.4 ±2.0 <sub>aA</sub>	11.8 ±2.6 <sub>aA</sub>	6.4 ±1.8 <sub>bA</sub>
0.40 %	11.2 ±1.8 <sub>aA</sub>	12.2 ±1.7 <sub>aAB</sub>	13.9 ±6.1 <sub>aB</sub>
1.00 %	12.4 ±2.1 <sub>aA</sub>	16.3 ±8.2 <sub>aAB</sub>	14.1 ±1.4 <sub>aB</sub>
1.50 %	12.5 ±2.9 <sub>aA</sub>	17.6 ±4.0 <sub>abB</sub>	20.7 ±6.6 <sub>bB</sub>

Medias, ± Desviación estándar.

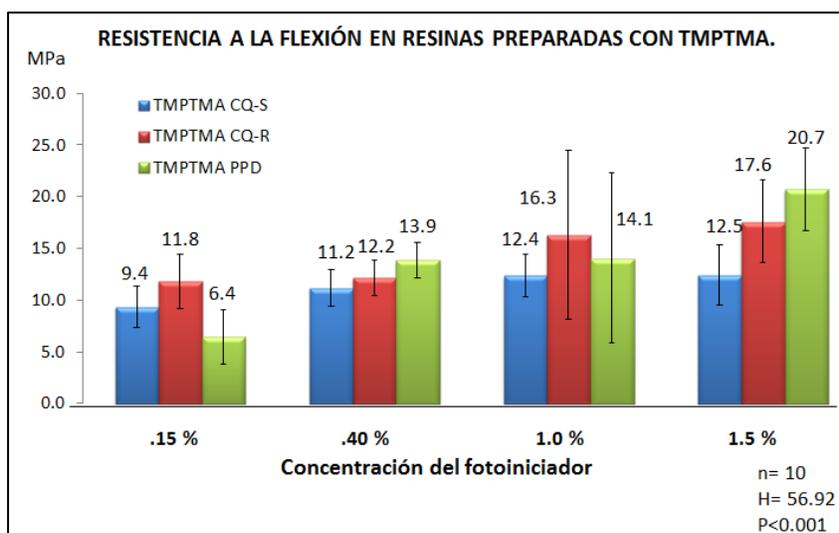
Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

A concentración de 0.15 % la resina preparada con PPD tuvo diferencias estadísticamente significativas, mientras que las Camforoquinonas no la tuvieron.

A concentraciones del fotoiniciador a 0.40 % y 1.0 % no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores.

A una concentración de 1.5 %, las resinas preparadas con CQ-R no presentó diferencias estadísticamente significativas con los otros dos fotoiniciadores, pero si las hubo entre CQ-S y PPD. (Gráfica 15).



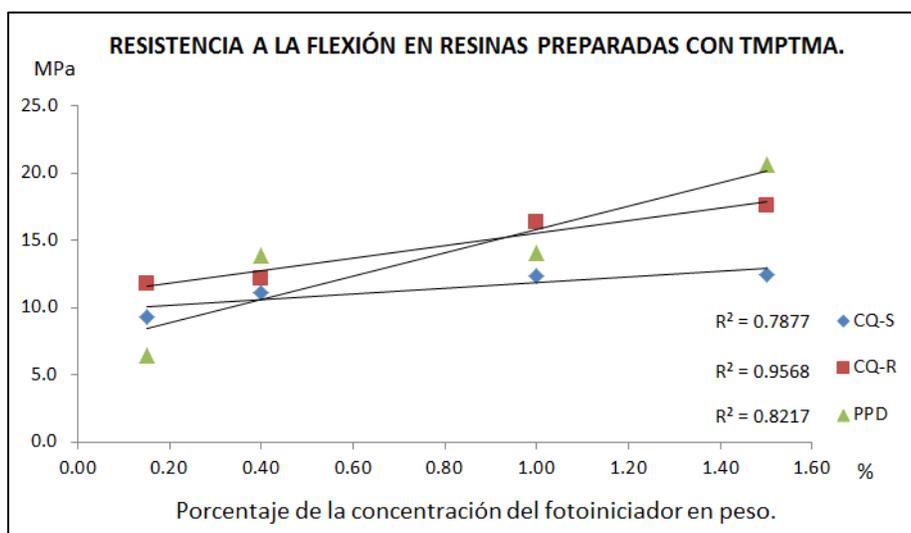
Gráfica 15. Resistencia a la flexión de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

La mayor resistencia a la flexión se obtuvo en las resinas preparadas con TMPTMA empleando como fotoiniciador a PPD, alcanzando 20.7 MPa a una concentración de 1.5 %. La menor resistencia fue empleando el mismo fotoiniciador a una concentración del 0.15 % con 6.4 MPa.

En las mezclas de resinas con CQ-S no se presentaron diferencias estadísticamente significativas al emplear las cuatro concentraciones. Tanto en las mezclas con CQ-R como PPD, solo hubo diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de 0.15 % y 1.5 %.

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los enantiómeros de las Camforoquinonas en las concentraciones de las mezclas de resina a base de TMPTMA.

La influencia de la concentración de cada fotoiniciador se observa en el incremento de la resistencia a la flexión al aumentar la concentración de los tres fotoiniciadores. La CQ-R presenta una correlación de  $R^2= 0.96$ , la PPD una correlación de  $R^2= 0.82$ , y la CQ-S un correlación de  $R^2= 0.79$ . (Gráfica 16).



Gráfica 16. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con la resistencia a la flexión de las resinas preparadas con TMPTMA. Fuente: Directa.

## RESINAS PREPARADAS CON UDMA

Los resultados de la resistencia a la flexión en Megapascuales de los grupos de resinas preparadas a base de UDMA se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados de la resistencia a la flexión (MPa) en resinas con UDMA.

Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
0.15 %	150.0 ±17.4 <sub>aA</sub>	133.5 ±9.1 <sub>aA</sub>	124.2 ±28.3 <sub>aA</sub>
0.40 %	126.4 ±29.4 <sub>aAB</sub>	112.3 ±7.4 <sub>aB</sub>	95.5 ±30.5 <sub>aA</sub>
1.00 %	125.8 ±16.0 <sub>aAB</sub>	107.4 ±6.4 <sub>aB</sub>	90.2 ±8.7 <sub>bA</sub>
1.50 %	118.2 ±6.3 <sub>aB</sub>	107.1 ±11.6 <sub>abB</sub>	82.7 ±15.4 <sub>bA</sub>

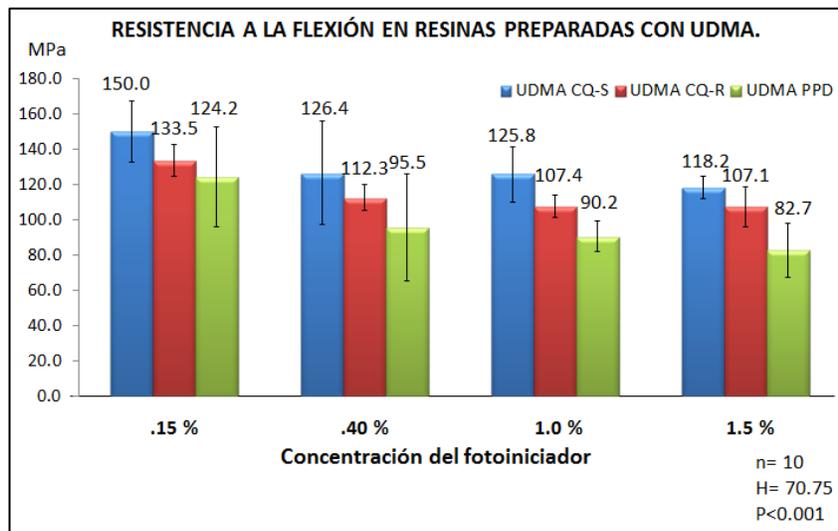
Medias, ± Desviación estándar.

Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

A concentración 0.15 % y 0.40 % no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores.

A concentración de 1.0 %, CQ-S y CQ-R no presentaron diferencias estadísticamente significativas, pero entre CQ-S y PPD si las hubo. (Gráfica 17).



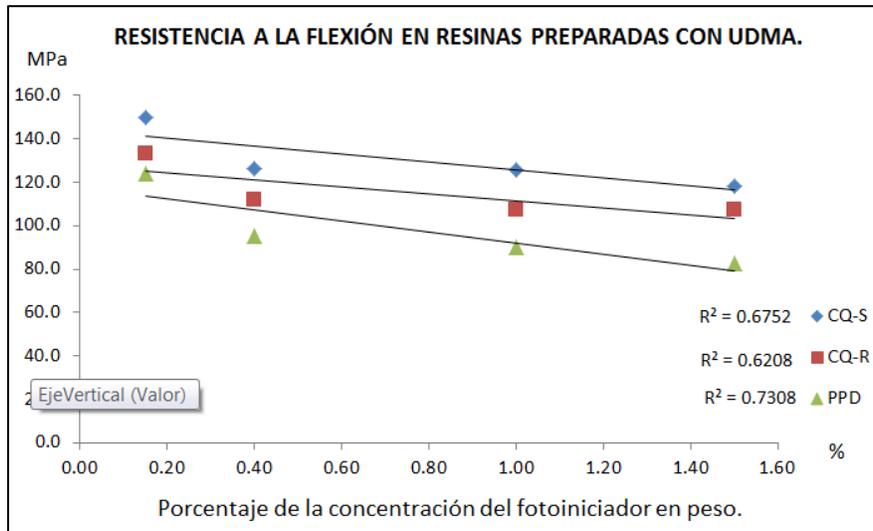
Gráfica 17. Resistencia a la flexión de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

La mayor resistencia a la flexión se obtuvo en las resinas preparadas con UDMA empleando como fotoiniciador CQ-S, con 150.0 MPa a una concentración de 0.15 %. La menor resistencia a la flexión fue empleando PPD a una concentración de 1.5 % con 82.7 MPa.

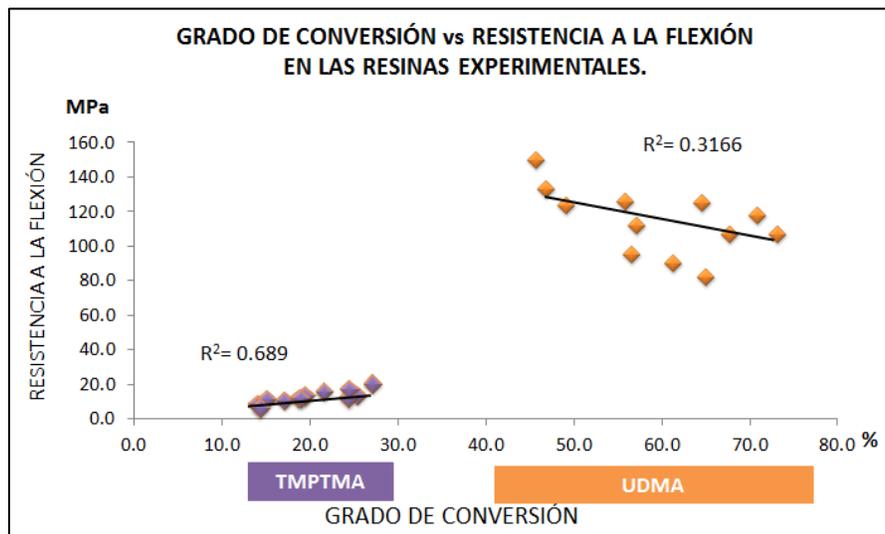
Al observar la influencia de la concentración en cada fotoiniciador se puede observar la disminución de la resistencia a la flexión al aumentar la concentración de los tres fotoiniciadores. La PPD presenta una correlación de  $R^2= 0.73$ , la CQ-S una correlación de  $R^2= 0.68$ , y la CQ-R un correlación de  $R^2= 0.62$ . (Gráfica 18).

Al emplear los tres tipos de fotoiniciadores y las cuatro concentraciones en este estudio, las mezclas de resina a base de TMPTMA presentaron un intervalo de grado de conversión de 14.1 % a 27.1 % y un intervalo de resistencia a la flexión de 6.4 MPa a 20.7 MPa, con una correlación de  $R^2= 0.689$ , con una tendencia de aumentar la resistencia a la flexión al aumentar el grado de conversión de estas resinas. Mientras que las mezclas de resina preparadas con UDMA presentaron un intervalo de grado de conversión de 45.7 % a 73.2 % y un intervalo de resistencia a la flexión de 82.7 MPa a 150.0 MPa, con una correlación de  $R^2=$

0.3166, observándose una tendencia a disminuir la resistencia a la flexión al aumentar el grado de conversión. (Gráfica 19).

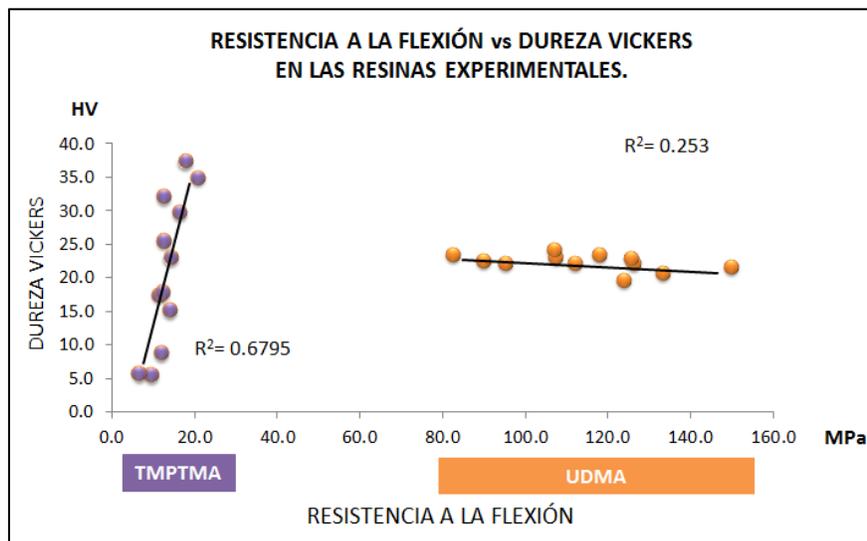


Gráfica 18. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con la resistencia a la flexión de las resinas preparadas con UDMA. Fuente: Directa.



Gráfica 19. Grado de conversión vs Resistencia a la flexión en las resinas experimentales. Fuente: Directa.

Al comparar los resultados de resistencia a la flexión con dureza, observamos que las mezclas de resina a base de TMPTMA presentaron un intervalo de resistencia a la flexión de 6.4 MPa a 20.7 MPa y un intervalo de 5.6 HV a 37.5 HV de dureza, con una correlación de  $R^2= 0.6795$ , con una tendencia de aumentar la dureza al aumentar la resistencia a la flexión de estas resinas. En el caso de las mezclas de resina preparadas con UDMA presentaron un intervalo un intervalo de resistencia a la flexión de 82.7 MPa a 150.0 MPa y un intervalo de 19.5 HV a 24.0 HV de dureza, con una correlación de  $R^2= 0.3166$ , observándose una tendencia a disminuir la dureza al aumentar la resistencia a la flexión. (Gráfica 20).



Gráfica 20. Resistencia a la flexión vs Dureza Vickers en las resinas experimentales. Fuente: Directa.

## MÓDULO ELÁSTICO A LA FLEXIÓN

Los resultados fueron analizados con el programa Sigma Stat<sup>®</sup>, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis (prueba H) y posteriormente una prueba de correlación múltiple en los datos obtenidos de módulo elástico tanto de TMPTMA como de UDMA ya que no presentaron normalidad.

### MÓDULO ELÁSTICO EN RESINAS PREPARADAS CON TMPTMA

Los resultados del módulo elástico en Gigapascales (GPa) de los grupos de resinas preparadas a base de TMPTMA se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Resultados del módulo elástico a la flexión (GPa) en resinas con TMPTMA.

Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
0.15 %	0.5 ±0.1 <sub>aA</sub>	0.7 ±0.1 <sub>aA</sub>	0.5 ±0.1 <sub>aA</sub>
0.40 %	1.1 ±0.2 <sub>aB</sub>	1.3 ±0.3 <sub>aB</sub>	1.1 ±0.3 <sub>aB</sub>
1.00 %	1.5 ±0.5 <sub>aB</sub>	1.7 ±0.4 <sub>aC</sub>	1.5 ±0.2 <sub>aBC</sub>
1.50 %	1.2 ±0.4 <sub>aB</sub>	1.8 ±0.4 <sub>aC</sub>	1.9 ±0.5 <sub>aC</sub>

Medias, ± Desviación estándar.

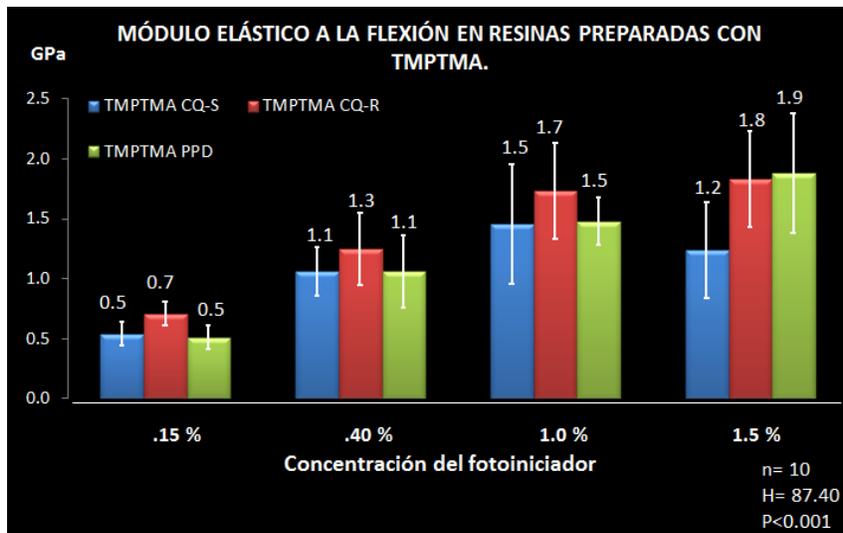
Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

En las cuatro concentraciones (0.15 %, 0.40 %, 1.00 % y 1.5 %) no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores.

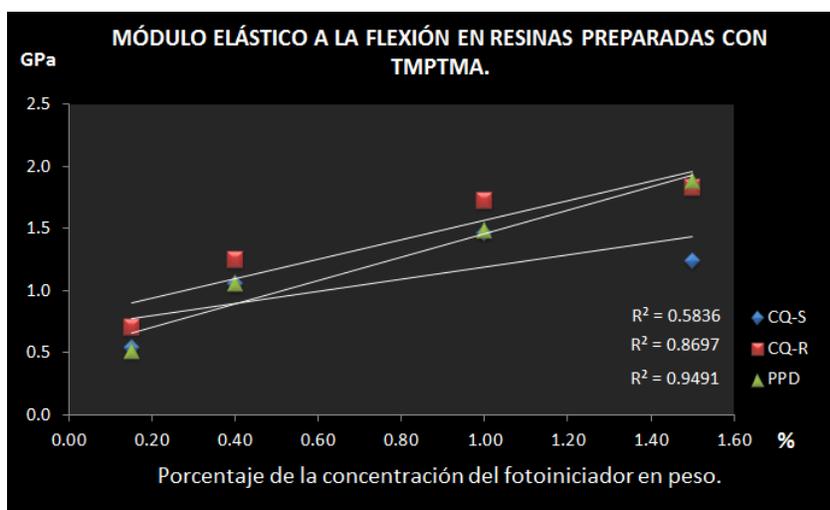
El mayor módulo elástico a la flexión se obtuvo en las resinas preparadas con TMPTMA empleando como fotoiniciador PPD con 1.9 GPa a una concentración de 1.5 %. Mientras que el menor módulo elástico fue con CQ-S y PPD a una concentración de 0.15 % con 0.5 GPa.

Para los enantiómeros de Camforoquinona, no hubo diferencias estadísticamente significativas en las cuatro concentraciones. (Gráfica 21).



Gráfica 21. Módulo elástico a la flexión de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

El comportamiento del módulo de elasticidad a la flexión de las mezclas de resina fue que al aumentar la concentración del fotoiniciador también aumentaba su módulo de elasticidad. Solo CQ-S mostró una disminución a una concentración de 1.5 % del módulo elástico, no siendo estadísticamente significativo, con una correlación de  $R^2 = 0.58$ . CQ-R presentó una correlación  $R^2 = 0.87$ . Y PPD mostró una correlación de  $R^2 = 0.95$ . (Gráfica 22).



Gráfica 22. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el módulo elástico a la flexión de las resinas con TMPTMA. Fuente: Directa.

## MÓDULO ELÁSTICO A LA FLEXIÓN EN RESINAS PREPARADAS CON UDMA

Los resultados del módulo de elasticidad a la flexión en Gigapascales (GPa) de los grupos de resinas preparadas a base de UDMA se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Resultados del módulo elástico a la flexión (GPa) en resinas con UDMA.

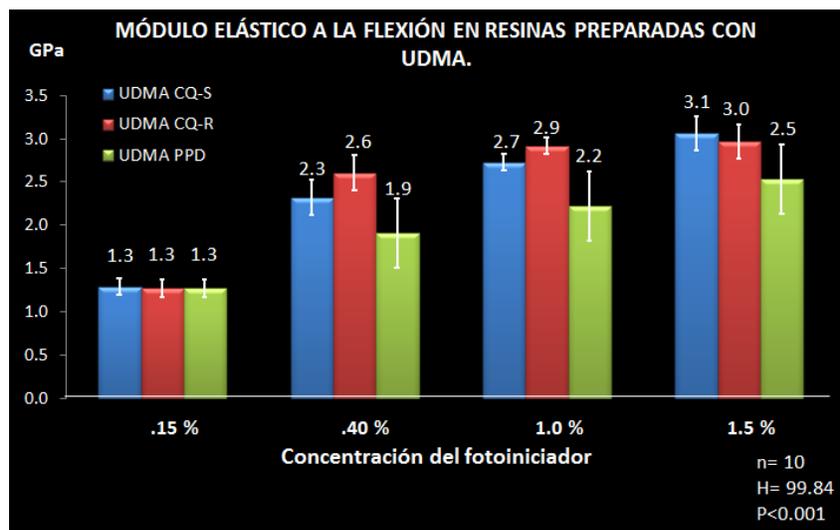
Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
<b>0.15 %</b>	1.3 ±0.1 <sub>aA</sub>	1.3 ±0.1 <sub>aA</sub>	1.3 ±0.1 <sub>aA</sub>
<b>0.40 %</b>	2.3 ±0.2 <sub>aB</sub>	2.6 ±0.2 <sub>aB</sub>	1.9 ±0.4 <sub>aB</sub>
<b>1.00 %</b>	2.7 ±0.1 <sub>aC</sub>	2.9 ±0.1 <sub>aC</sub>	2.2 ±0.4 <sub>aBC</sub>
<b>1.50 %</b>	3.1 ±0.2 <sub>aD</sub>	3.0 ±0.2 <sub>aC</sub>	2.5 ±0.4 <sub>aC</sub>

Medias, ± Desviación estándar.

Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

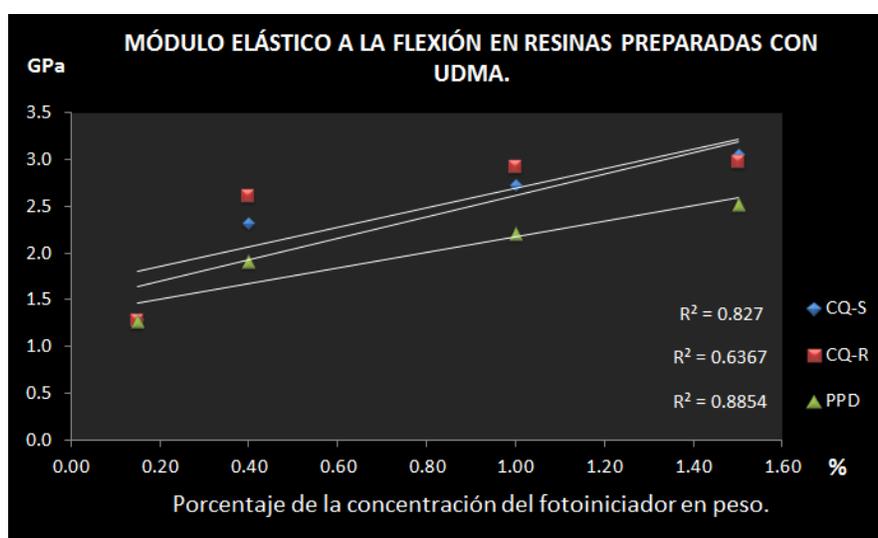
Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

En las cuatro concentraciones de fotoiniciador en las mezclas de resina a base de UDMA no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores. (Gráfica 23).



Gráfica 23. Módulo elástico a la flexión de las resinas preparadas con UDMA observando cada fotoiniciador con sus respectivas concentraciones.

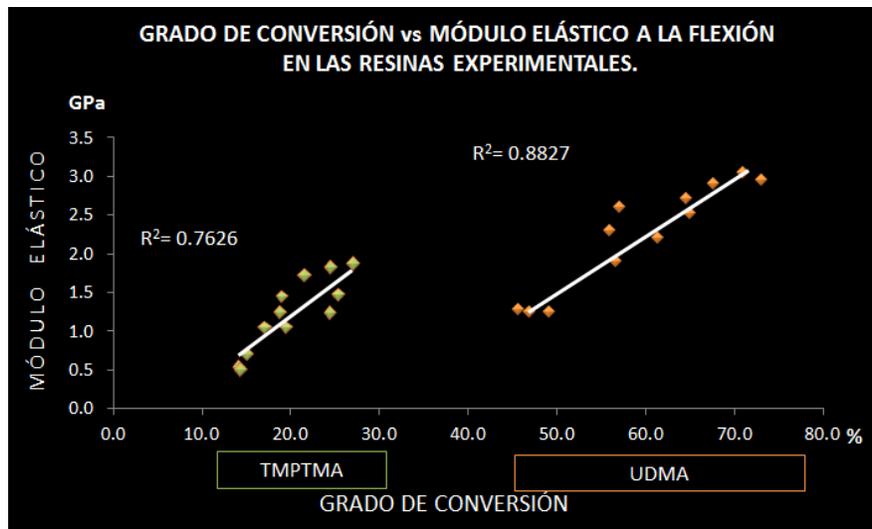
En las resinas preparadas con CQ-S se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de concentración, observándose el aumento del módulo elástico al ir aumentando la concentración del fotoiniciador ( $R^2 = 0.83$ ). En las resinas con CQ-R no se presentaron diferencias estadísticas en las concentraciones de 1.0 % a 1.5 % con una correlación de  $R^2 = 0.64$ . En las resinas preparadas con PPD se presentó una correlación de  $R^2 = 0.89$  entre la concentración del fotoiniciador con el módulo elástico a la flexión. (Gráfica 24).



Gráfica 24. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el módulo elástico a la flexión de las resinas con UDMA. Fuente: Directa.

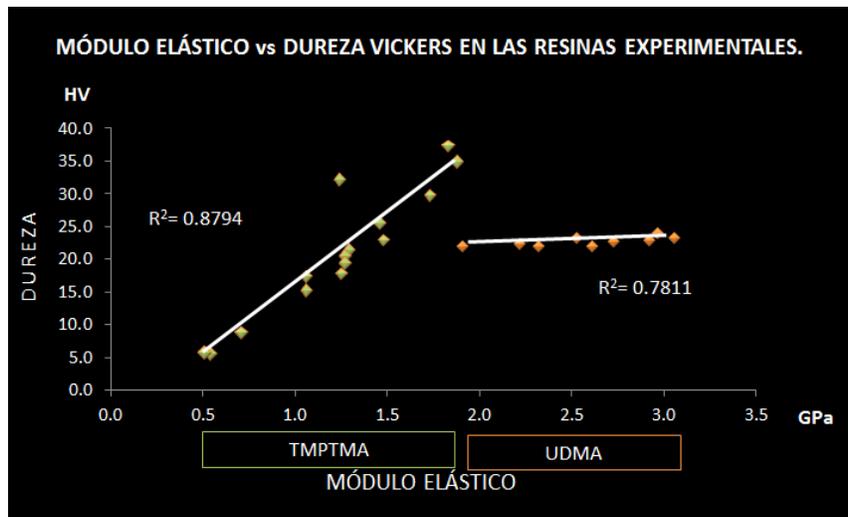
Al emplear los tres tipos de fotoiniciadores y las cuatro concentraciones las mezclas de resina a base de TMPTMA presentaron un intervalo de grado de conversión de 14.1 % a 27.1 % y un intervalo de módulo de elasticidad de 0.5 GPa a 1.9 GPa, con una correlación de  $R^2 = 0.7626$ , con una tendencia de aumentar el módulo elástico al aumentar el grado de conversión de estas resinas. Mientras que las mezclas de resina preparadas con UDMA presentaron un intervalo de grado de conversión de 45.7 % a 73.2 % y un intervalo de módulo de elasticidad de 1.3 GPa a 3.1 GPa, con una correlación de  $R^2 = 0.8827$ , observándose una tendencia a

disminuir la resistencia a la flexión al aumentar el grado de conversión. (Gráfica 25).



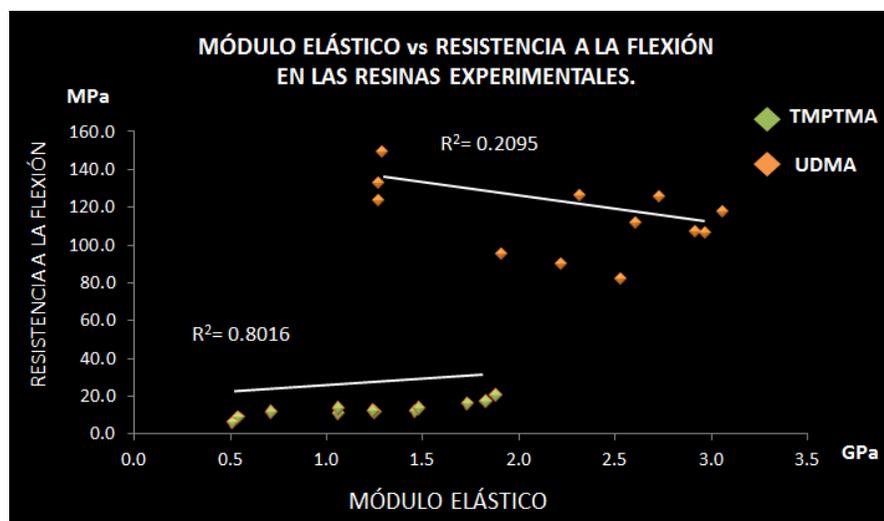
Gráfica 25. Grado de conversión vs Módulo elástico a la flexión en las mezclas de resinas experimentales. Fuente: Directa.

Al emplear los tres tipos de fotoiniciadores y las cuatro concentraciones en este estudio, las mezclas de resina a base de TMPTMA presentaron un intervalo de módulo elástico de 0.5 GPa a 1.9 GPa y un intervalo de dureza de 5.6 HV a 37.5 HV, con una correlación de  $R^2= 0.88$ , con tendencia a aumentar su dureza al aumentar su módulo de elasticidad. Mientras que las mezclas de resina preparadas con UDMA presentaron un intervalo de módulo de elasticidad de 1.3 GPa a 3.1 GPa y un intervalo de dureza de 19.5 HV a 24.0 HV, con una correlación de  $R^2= 0.78$ , también con tendencia a aumentar su dureza, aunque en un rango más pequeño compara con TMPTMA, al aumentar su módulo de elasticidad. (Gráfica 26).



Gráfica 26. Módulo elástico a la flexión vs Dureza Vickers en las mezclas de resinas experimentales. Fuente: Directa.

Al comparar la relación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión se observa que las resinas preparadas con TMPTMA presentan una baja elasticidad con una baja resistencia a la flexión, con una correlación de  $R^2 = 0.80$ . En tanto que las resinas preparadas con UDMA muestran una baja correlación ( $R^2 = 0.21$ ) entre su módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión, la cual disminuye al aumentar su elasticidad. (Gráfica 27).



Gráfica 27. Módulo elástico a la flexión vs Resistencia a la flexión en las mezclas de resinas experimentales. Fuente: Directa.

## ENCOGIMIENTO POR POLIMERIZACIÓN

Los resultados fueron analizados con el programa Sigma Stat<sup>®</sup>, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis (prueba H) y posteriormente una prueba de correlación múltiple de las resinas preparadas con TMPTMA como de UDMA, ya que no presentaron normalidad.

### ENCOGIMIENTO POR POLIMERIZACIÓN EN RESINAS PREPARADAS CON TMPTMA

Los resultados del porcentaje de encogimiento por polimerización de los grupos de resinas preparadas a base de TMPTMA se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Resultado del porcentaje de encogimiento por polimerización (%) en resinas con TMPTMA.

Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
0.15 %	6.6 ±0.2 <sub>aA</sub>	7.2 ±0.2 <sub>bA</sub>	6.0 ±0.2 <sub>cA</sub>
0.40 %	7.2 ±0.3 <sub>aB</sub>	7.4 ±0.1 <sub>aA</sub>	8.4 ±0.7 <sub>bB</sub>
1.00 %	6.0 ±0.2 <sub>aC</sub>	6.2 ±0.1 <sub>aB</sub>	7.5 ±0.1 <sub>bC</sub>
1.50 %	6.5 ±0.3 <sub>aA</sub>	6.3 ±0.3 <sub>aB</sub>	7.2 ±0.1 <sub>bC</sub>

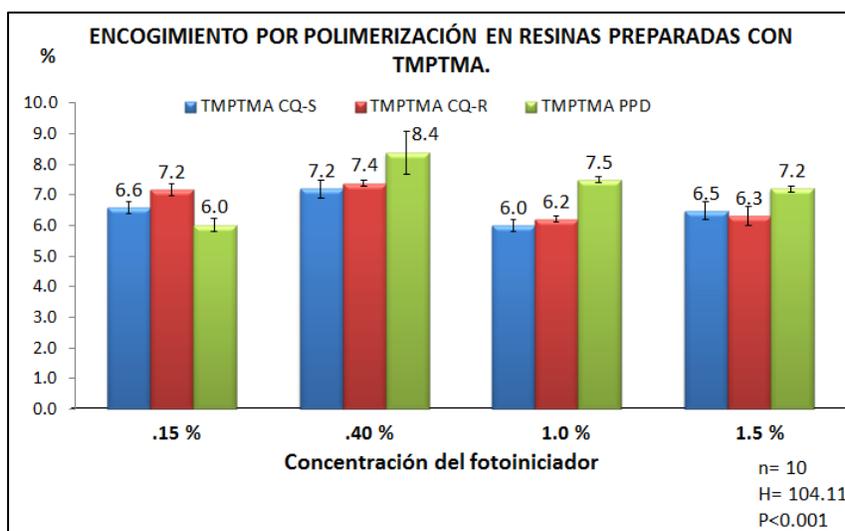
Medias, ± Desviación estándar.

Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

A concentración de fotoiniciador de 0.15 %, la resina preparada con CQ-R fue la que mayor porcentaje de encogimiento por polimerización mostro con 7.2 %, seguido de CQ-S con 6.6 % y PPD con 6.0 %; habiendo diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores.

En las concentraciones de 0.40 %, 1.0 % y 1.5 % el uso de PPD causó el mayor porcentaje de encogimiento, mientras que las Camforoquinonas causaron el mismo encogimiento. (Gráfica 28).

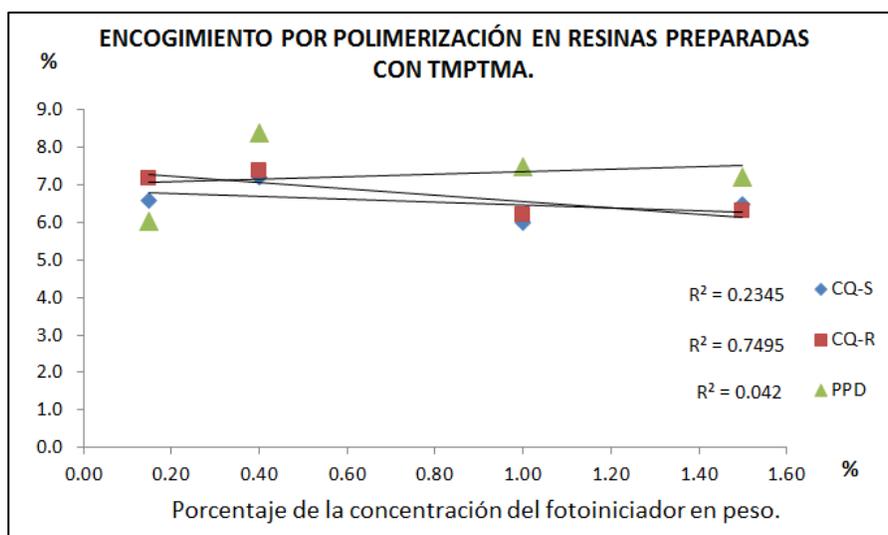


Gráfica 28. Encogimiento por polimerización de las resinas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

El mayor porcentaje de encogimiento por polimerización en las resinas preparadas con TMPTMA se obtuvo empleando como fotoiniciador a PPD con 8.4 % a la concentración de 1.5 %. Mientras que el menor porcentaje de encogimiento se logró usando CQ-S al 1.0 % de concentración y PPD a 0.15 %, ambos con 6.0 % de encogimiento.

En el caso de los enantiómeros de Camforoquinona, la CQ-R presentó solamente diferencias estadísticamente significativas enfrente de la CQ-S en la primera concentración (0.15%).

Al observar la influencia de la concentración en cada fotoiniciador, se observa en forma general, que el mayor porcentaje de encogimiento por polimerización se da en la concentración de 0.40 % en los tres fotoiniciadores, para posteriormente disminuir. En la CQ-R presentó una correlación de  $R^2 = 0.75$ , la cual es con tendencia a disminuir el encogimiento con el aumento de la concentración del fotoiniciador. En la CQ-S y PPD no existe correlación entre la concentración del fotoiniciador y el encogimiento por polimerización. (Gráfica 29).



Gráfica 29. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el porcentaje de encogimiento por polimerización de las resinas preparadas con TMPTMA. Fuente: Directa.

## **ENCOGIMIENTO POR POLIMERIZACIÓN EN RESINAS PREPARADAS CON UDMA**

Los resultados del porcentaje de encogimiento por polimerización de los grupos de resinas preparadas a base de UDMA se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Resultados del porcentaje de encogimiento por polimerización (%) en resinas con UDMA.

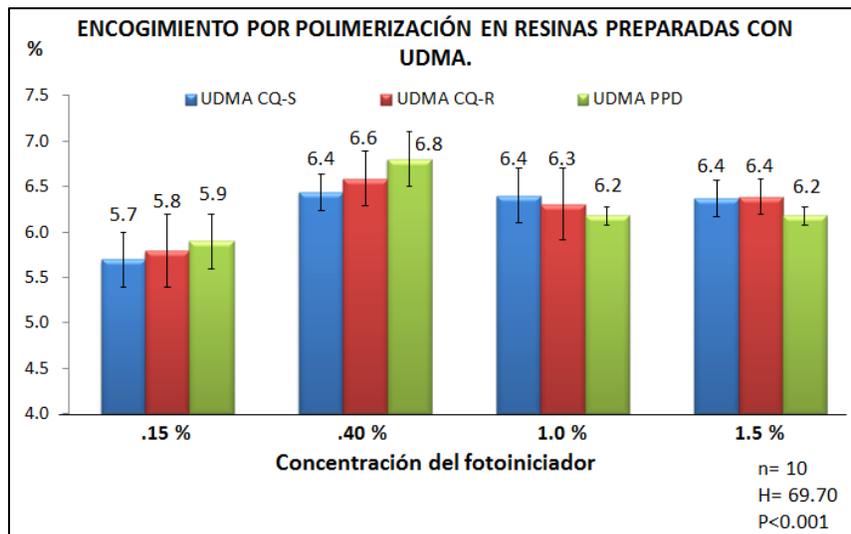
Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
<b>0.15 %</b>	5.7 ±0.3 <sub>aA</sub>	5.8 ±0.4 <sub>aA</sub>	5.9 ±0.2 <sub>aA</sub>
<b>0.40 %</b>	6.4 ±0.2 <sub>aB</sub>	6.6 ±0.3 <sub>aB</sub>	6.8 ±0.3 <sub>aB</sub>
<b>1.00 %</b>	6.4 ±0.3 <sub>aB</sub>	6.3 ±0.4 <sub>aAB</sub>	6.2 ±0.1 <sub>aA</sub>
<b>1.50 %</b>	6.4 ±0.2 <sub>aB</sub>	6.4 ±0.2 <sub>aB</sub>	6.2 ±0.1 <sub>aA</sub>

Medias, ± Desviación estándar.

Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

En las cuatro concentraciones empleadas en las resinas con TMPTMA, no se presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores. (Gráfica 30).

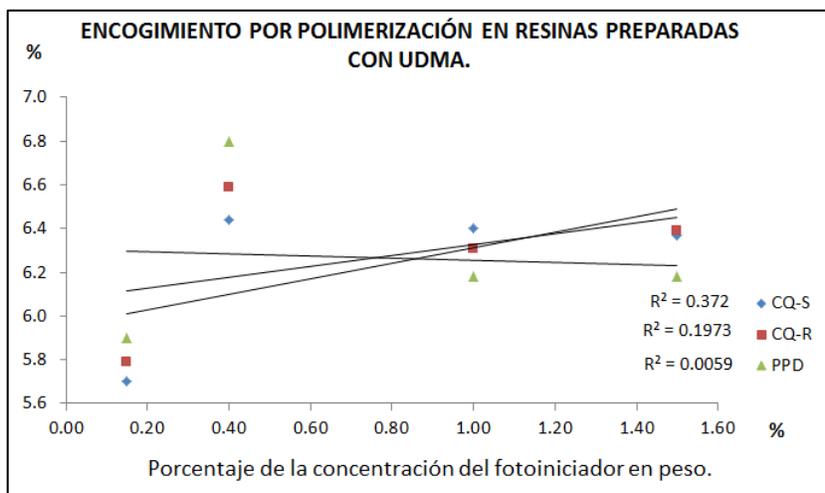


Gráfica 30. Encogimiento por polimerización de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

El mayor porcentaje de encogimiento por polimerización se obtuvo en las resinas empleando como fotoiniciador a PPD, alcanzando 6.8 % a una concentración de 1.5 %. Mientras que el menor porcentaje de encogimiento fue empleando cualquier fotoiniciador a una concentración de 0.15 %.

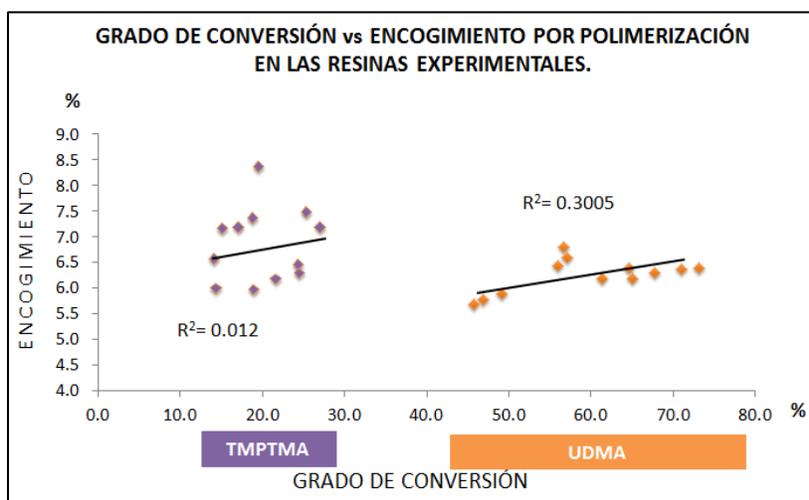
En el caso de los enantiómeros de la Camforoquinona no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en las cuatro concentraciones estudiadas.

Al observar la influencia de la concentración en cada fotoiniciador, se observa el incremento del porcentaje de encogimiento por polimerización a la concentración de 0.40 % en los tres fotoiniciadores, para posteriormente disminuir en el caso de CQ-R y PPD, o mantenerse como la CQ-S. No se observa correlación alguna en los tres fotoiniciadores con sus aumentos de concentración y el encogimiento por polimerización. (Gráfica 31).

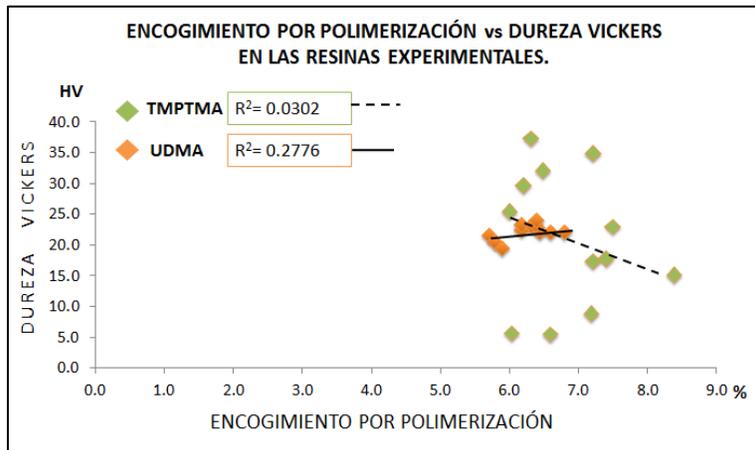


Gráfica 31. Correlaciones del porcentaje de concentración de cada fotoiniciador con el porcentaje de encogimiento por polimerización de las resinas preparadas con UDMA. Fuente: Directa.

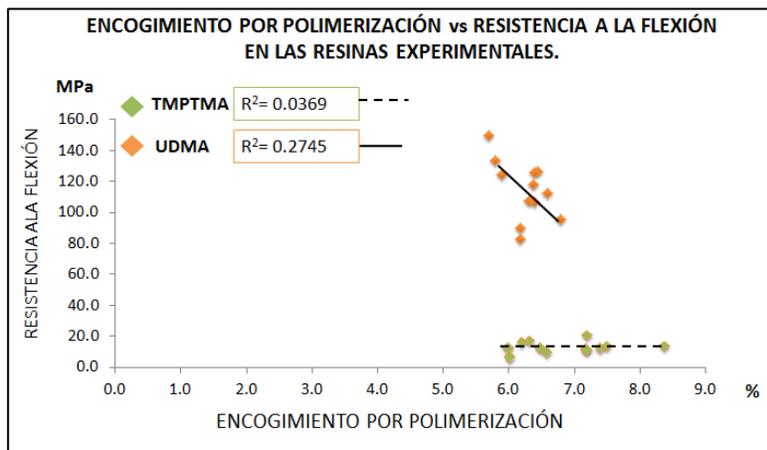
Al observar el comportamiento del material en ambos monómeros dado su encogimiento por polimerización con sus grados de conversión, dureza Vickers, resistencia a la flexión y módulo elástico a la flexión, no se encontraron correlaciones. (Gráficas 32-35).



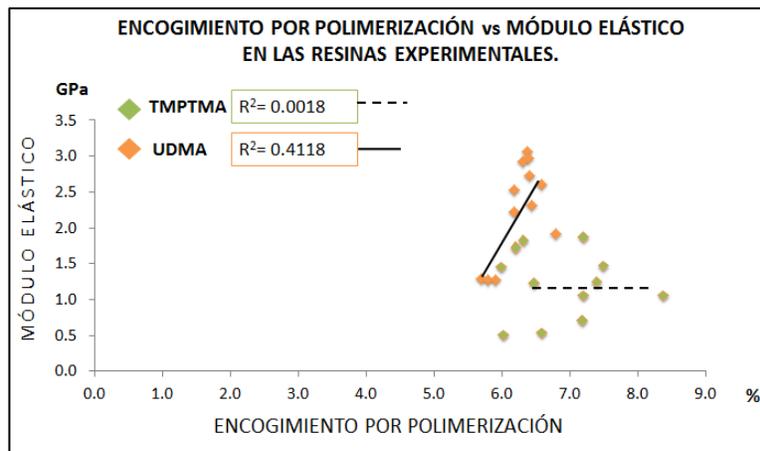
Gráfica 32. Grado de conversión vs Encogimiento por polimerización en las resinas experimentales. Fuente: Directa.



Gráfica 33. Encogimiento por polimerización vs Dureza Vickers en las resinas experimentales. Fuente: Directa.



Gráfica 34. Encogimiento por polimerización vs Resistencia a la flexión en las resinas experimentales. Fuente: Directa.



Gráfica 35. Encogimiento por polimerización vs Módulo elástico a la flexión en las resinas experimentales. Fuente: Directa.

## RAPIDEZ DE POLIMERIZACIÓN

Los resultados fueron analizados con el programa Sigma Stat<sup>®</sup>, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis (prueba H) y posteriormente una prueba de correlación múltiple tanto de las resinas preparadas con TMPTMA como de UDMA.

### RAPIDEZ DE POLIMERIZACIÓN EN RESINAS PREPARADAS CON TMPTMA

Los resultados de la rapidez de polimerización ( $\mu\text{m}/\text{min}$ ) de los grupos de resinas preparadas a base de TMPTMA se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Resultados de la rapidez de polimerización ( $\mu\text{m}/\text{min}$ ) en resinas con TMPTMA.

Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
0.15 %	239.3 $\pm$ 3.3 <sub>aA</sub>	253.9 $\pm$ 14.1 <sub>aA</sub>	154.4 $\pm$ 7.6 <sub>bA</sub>
0.40 %	313.5 $\pm$ 39.4 <sub>aB</sub>	310.3 $\pm$ 27.9 <sub>aB</sub>	281.0 $\pm$ 49.1 <sub>aB</sub>
1.00 %	354.1 $\pm$ 36.4 <sub>aB</sub>	338.4 $\pm$ 29.3 <sub>aB</sub>	344.8 $\pm$ 25.5 <sub>aB</sub>
1.50 %	323.3 $\pm$ 23.3 <sub>aB</sub>	328.2 $\pm$ 24.5 <sub>aB</sub>	338.2 $\pm$ 29.9 <sub>aB</sub>

Medias,  $\pm$  Desviación estándar.

Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

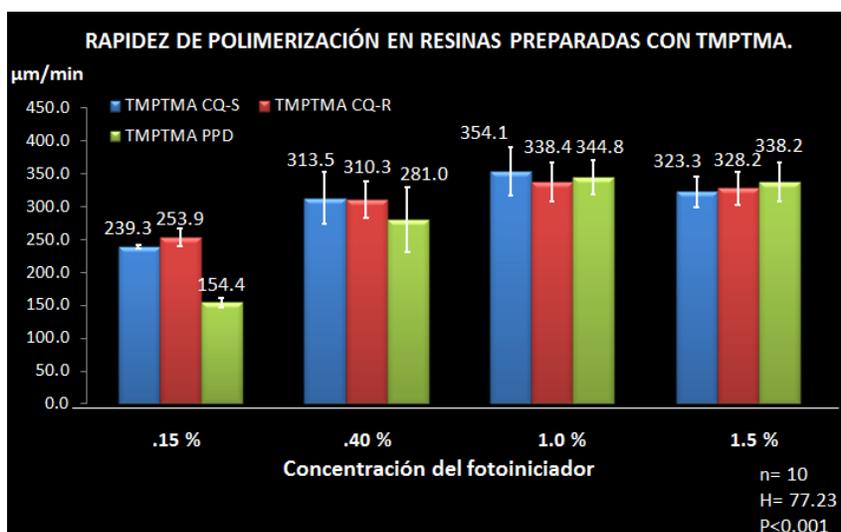
Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

En la concentración del fotoiniciador a 0.15 %, la resina preparada con CQ-R fue la que mayor rapidez de polimerización mostro con 253.9  $\mu\text{m}/\text{min}$ , seguido de CQ-S con 239.3  $\mu\text{m}/\text{min}$  y PPD con 154.4  $\mu\text{m}/\text{min}$ ; habiendo diferencias estadísticamente significativas de PPD frente las Camforoquinonas.

En los porcentajes de concentración de 0.40 %, 1.0 % y 1.5 %, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres fotoiniciadores.

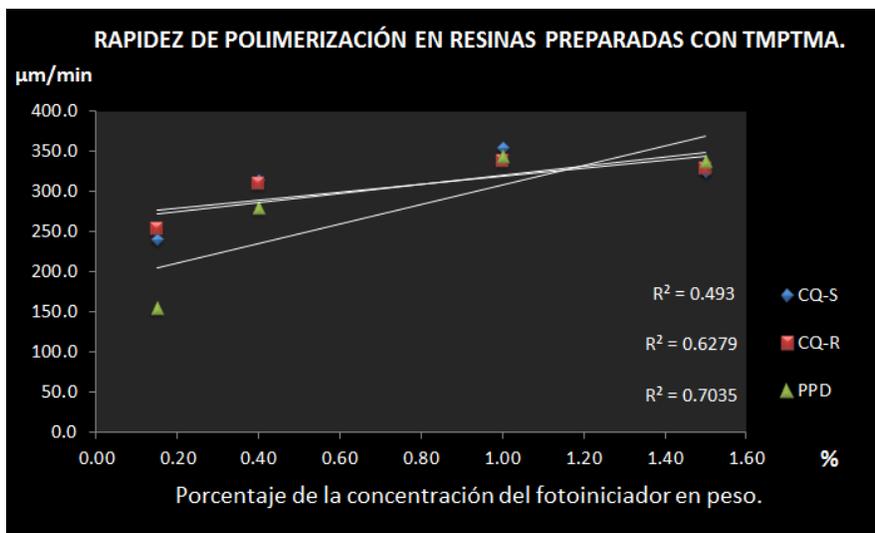
La mayor rapidez de polimerización se obtuvo en las resinas empleando como fotoiniciador CQ-S, alcanzando 354.1  $\mu\text{m}/\text{min}$  a una concentración de 1.0 %. Mientras que la menor rapidez de polimerización fue empleando PPD al 0.15 % de concentración con 154.4  $\mu\text{m}/\text{min}$  de rapidez.

En el caso de los enantiómeros de la Camforoquinona, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en las cuatro concentraciones (Gráfica 36).



Gráfica 36. Rapidez de polimerización de las resinas preparadas con TMPTMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

En los tres fotoiniciadores únicamente se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de 0.15 % con respecto a las otras tres concentraciones. Al observar la influencia de la concentración en cada fotoiniciador, se observa el incremento de la rapidez de polimerización hasta la concentración de 1.0 % en los tres fotoiniciadores, para posteriormente mantenerse ligeramente en los mismos rangos. (Gráfica 37).



Gráfica 37. Correlaciones de la concentración de cada fotoiniciador con la rapidez de polimerización de las resinas preparadas con TMPTMA. Fuente: Directa.

### **RAPIDEZ DE POLIMERIZACIÓN EN RESINAS PREPARADAS CON UDMA**

Los resultados de la rapidez de polimerización ( $\mu\text{m}/\text{min}$ ) de los grupos de resinas preparadas a base de UDMA se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Resultados de la rapidez de polimerización en resinas con UDMA.

Concentración del fotoiniciador	Mezcla de Resina con CQ-S	Mezcla de Resina con CQ-R	Mezcla de Resina con PPD
<b>0.15 %</b>	335.2 $\pm$ 19.5 <sub>aA</sub>	309.5 $\pm$ 27.1 <sub>aA</sub>	218.3 $\pm$ 10.6 <sub>bA</sub>
<b>0.40 %</b>	457.5 $\pm$ 33.0 <sub>aB</sub>	473.6 $\pm$ 15.4 <sub>aB</sub>	370.2 $\pm$ 14.4 <sub>bB</sub>
<b>1.00 %</b>	501.8 $\pm$ 14.1 <sub>aB</sub>	472.3 $\pm$ 28.9 <sub>aB</sub>	372.3 $\pm$ 6.6 <sub>bB</sub>
<b>1.50 %</b>	474.5 $\pm$ 23.7 <sub>aB</sub>	453.7 $\pm$ 32.9 <sub>aB</sub>	374.8 $\pm$ 16.7 <sub>bB</sub>

Medias,  $\pm$  Desviación estándar.

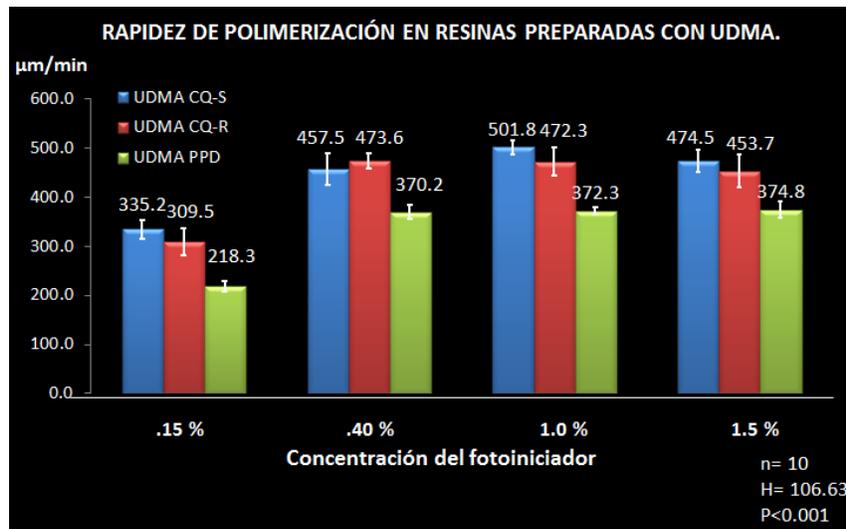
Las letras en minúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada fila.

Las letras en mayúsculas hacen referencia a las diferencias estadísticas en cada columna.

En las cuatro concentraciones (0.15 %, 0.40 %, 1.0 %y 1.5 %) las mezclas de resina de TMPTMA preparadas con PPD presentaron diferencias estadísticamente significativas con los otros dos fotoiniciadores.

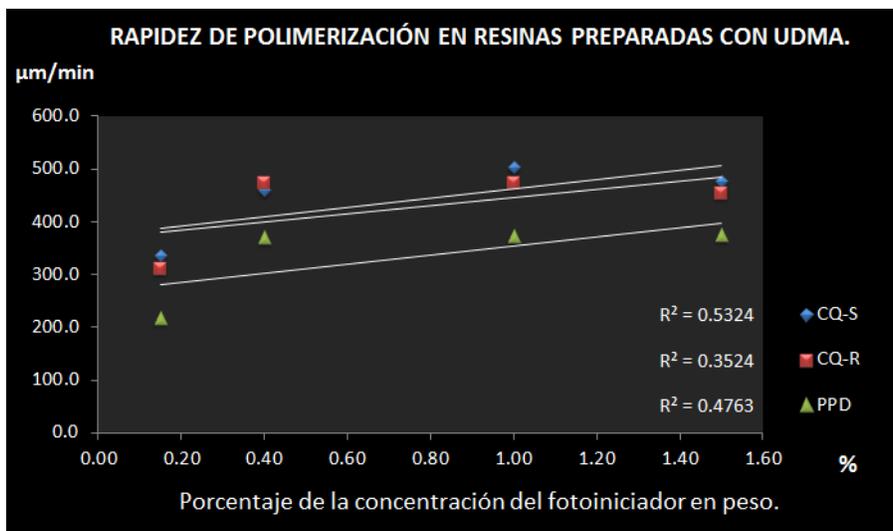
La mayor rapidez de polimerización se obtuvo en las resinas empleando como fotoiniciador a los enantiómeros de la Camforoquinona, CQ-S y CQ-R en

concentraciones de 0.40 a 1.5% sobre las elaboradas con PPD a esas mismas concentraciones. Mientras que la menor rapidez de polimerización fue empleando PPD al 0.15 % de concentración con 218.3  $\mu\text{m}/\text{min}$ . (Gráfica 38).



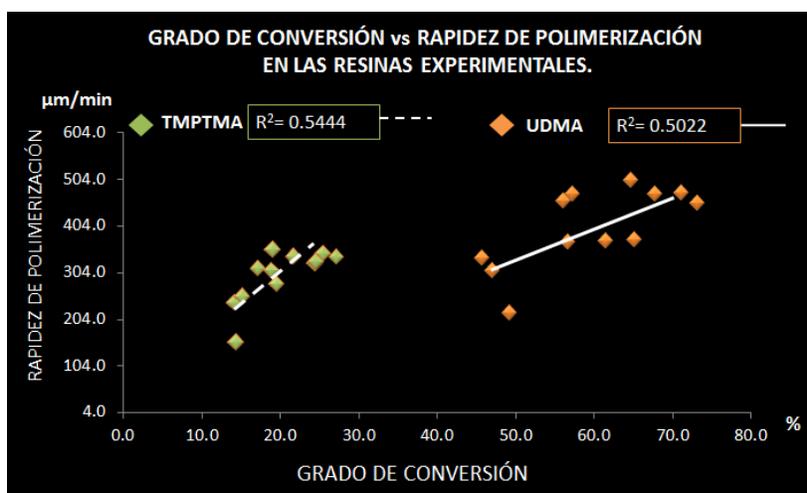
Gráfica 38. Rapidez de polimerización de las resinas preparadas con UDMA observando los tres fotoiniciadores en cada concentración. Fuente: Directa.

Al observar la influencia de la concentración de cada fotoiniciador, se observa el incremento de la rapidez de polimerización de la concentración de 0.15 % a 0.40 % en los tres fotoiniciadores, mostrando diferencias estadísticamente significativas. En las concentraciones de 0.40 % a 1.5 % no hay diferencias estadísticamente significativas. Los tres fotoiniciadores presentan muy bajo valor de correlación, CQ-S con una  $R^2=0.53$ , PPD con una  $R^2=0.48$ , y CQ-R con una  $R^2=0.35$ . (Gráfica 39).



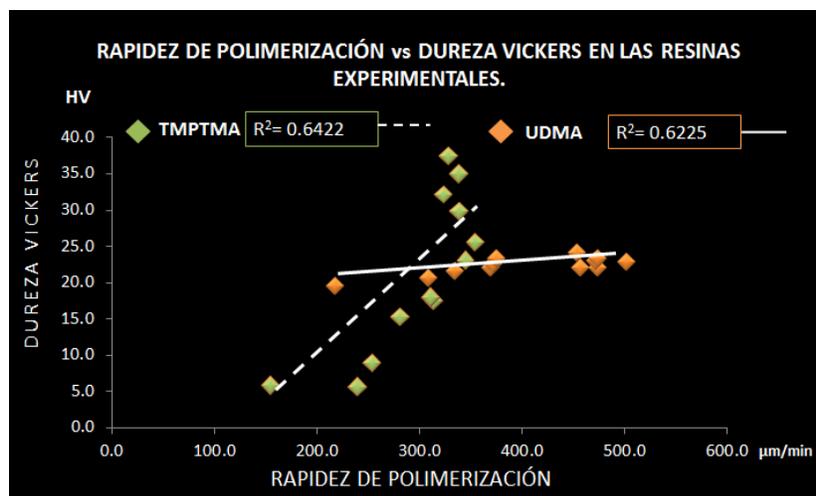
Gráfica 39. Correlaciones de la concentración de cada fotoiniciador con la rapidez de polimerización de las resinas preparadas con UDMA. Fuente: Directa.

Al observar el comportamiento del material en su rapidez de polimerización con su grado de conversión, tanto las mezclas de resinas preparadas con TMPTMA como con UDMA presentan una baja correlación. En las resinas con TMPTMA se presenta un bajo grado de conversión con una baja rapidez de polimerización, mientras que las resinas con UDMA presentan mayor grado de conversión y mayor rapidez de polimerización. (Gráfica 40).



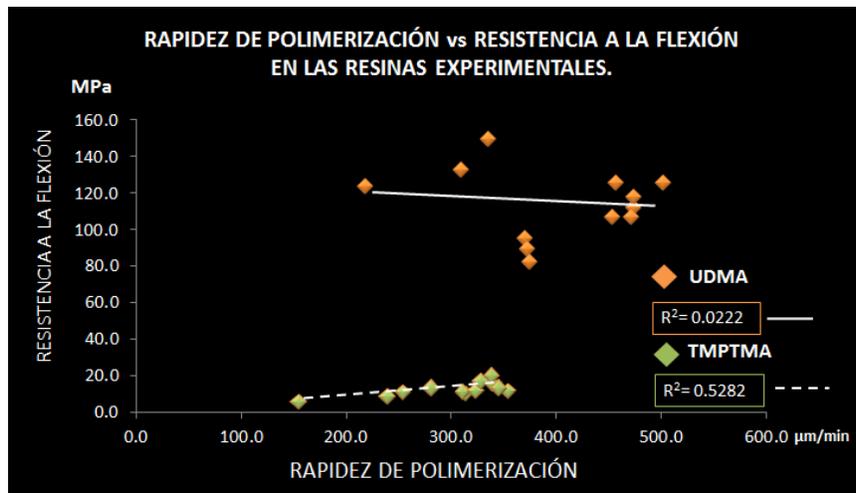
Gráfica 40. Grado de conversión vs Rapidez de polimerización en las resinas experimentales. Fuente: Directa.

Al comparar las propiedades de rapidez de polimerización con dureza, se observa una ligera correlación en ambos monómeros ( $R^2 = 0.6$ ), al aumentar la rapidez de polimerización también aumenta la dureza. En las mezclas de resina con TMPTMA el incremento de la dureza es mucho mayor a una menor rapidez que las resinas con UDMA las cuales mantienen una dureza de 22 HV en promedio en una rango mucho mayor de rapidez de polimerización (218.3 a 501.8  $\mu\text{m}/\text{min}$ ). (Gráfica 41).



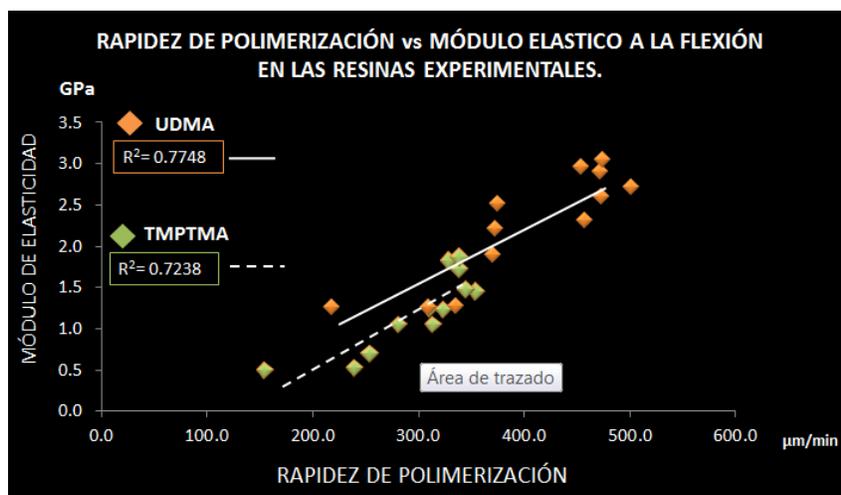
Gráfica 41. Rapidez de polimerización vs Dureza Vickers en las resinas experimentales. Fuente: Directa.

En las propiedades de rapidez de polimerización y resistencia a la flexión se puede observar que en las resinas con TMPTMA hay una baja correlación de ( $R^2 = 0.5$ ) cuando aumenta la rapidez también aumento ligeramente la resistencia a la flexión, pero esta resistencia es 10 veces menor que la que presentan las resinas con UDMA, la cual no presenta correlación con la rapidez de polimerización. (Gráfica 42).



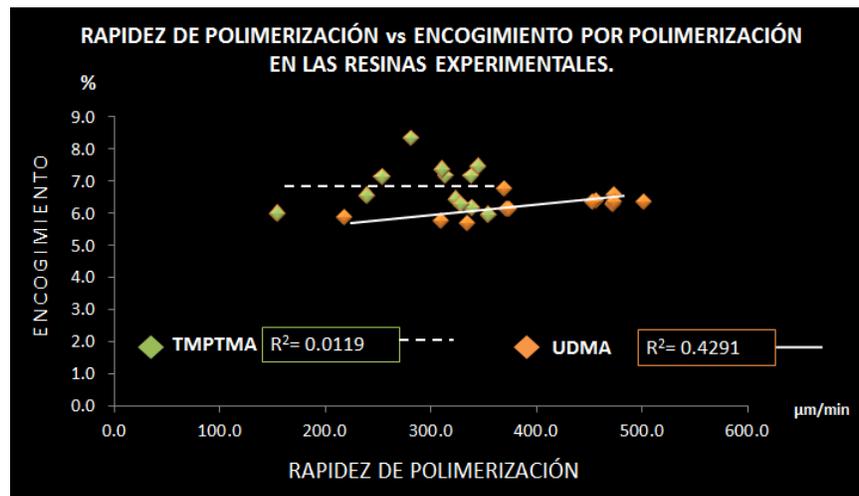
Gráfica 42. Rapidez de polimerización vs Resistencia a la flexión en las resinas experimentales. Fuente: Directa.

Al observar el comportamiento de ambos monómeros en su rapidez de polimerización y el módulo de elasticidad a la flexión se dan unas correlaciones de  $R^2 = 0.77$  y  $0.72$  para UDMA y TMPTMA respectivamente. En los dos tipos de monómeros se da el incremento del módulo de elasticidad al aumentar la rapidez de polimerización. En TMPTMA, en general, se da una menor rapidez y menor elasticidad que en las resinas con UDMA, mayor rapidez y mayor elasticidad. (Gráfica 43).



Gráfica 43. Rapidez de polimerización vs Módulo elástico a la flexión en las resinas experimentales. Fuente: Directa.

No se encontró correlación entre la rapidez de polimerización y el encogimiento por polimerización en las resinas preparadas con TMPTMA. En las resinas con UDMA la correlación es de  $R^2 = 0.43$ , al aumentar la rapidez de polimerización también aumenta de forma ligera el encogimiento por polimerización. (Gráfica 44).



Gráfica 44. Rapidez de polimerización vs Encogimiento por polimerización en las resinas experimentales. Fuente: Directa.

## 5. Discusión

La polimerización de las resinas dentales actuales para uso como restauración directa son iniciadas por un sistema de fotoiniciación, fotoiniciador/amina, el cual produce radicales libres al estar expuestos bajo una radiación lumínica dentro del espectro de luz visible. La eficiencia de este sistema tiene efectos clínicamente importantes sobre las propiedades del material, como es la rapidez de polimerización, la profundidad de curado y la conversión final de los monómeros, por citar unos ejemplos.<sup>2</sup>

La polimerización a temperatura ambiente de los dimetacrilatos usualmente conduce a resinas vídrias en el cual solo una parte de los dobles enlaces viables han reaccionado.<sup>27</sup> Antes de que la conversión sea finalizada, el fenómeno de vitrificación desacelera la reacción a una velocidad apenas perceptible.<sup>74</sup>

En las resinas compuestas dentales comerciales actualmente, la copolimerización de monómeros vinílicos multifuncionales conduce a una red entrecruzada polimérica dando como resultado insaturación residual en forma de grupos vinílicos pendientes y de monómero no reaccionado. Por lo tanto, las propiedades de estas complejas redes copoliméricas son determinadas no solo por la estructura química y composición del sistema monomérico, sino también por el grado de conversión de los grupos vinílicos, además de muchos factores más. Clínicamente, es importante saber si el material fotopolimerizable tiene un curado aceptable. Si hay niveles inadecuados de conversión el desempeño ante el desgaste y las propiedades mecánicas pueden estar comprometidas.<sup>2</sup>

La presencia de monómero sin reaccionar puede tener un efecto plastificante en el polímero, de este modo alterando las propiedades físicas y mecánicas del material endurecido. En adición, la presencia de insaturaciones residuales puede hacer a la matriz polimérica más susceptible a reacciones de degradación por oxidación. En las resinas compuestas dentales, tales reacciones de degradación pueden

conducir a una estética disminuida, por la modificación de color, así como a una durabilidad comprometida por el desgaste del material. Por otro lado, un curado incompleto pudiera comprometer la compatibilidad por la filtración de monómero residual y de iniciadores. Sin embargo, si la conversión es aumentada para reducir estos problemas se vería aumentado un problema mucho mayor, el encogimiento por polimerización. Es importante, por lo tanto, ser capaz de evaluar rápidamente y convenientemente, al menos sobre una base relativa, el grado de conversión de cualquier sistema de monómero dental, que se puede polimerizar en condiciones controladas.<sup>75</sup> Ya que el estudio actual sobre estos materiales está enfocado en la matriz polimérica, es importante conocer las características que nos puede brindar un monómero metacrilato con estructura química diferente, buscando aumentar el grado de conversión sin aumentar el encogimiento por polimerización, para reducir el esfuerzo de polimerización y no comprometer la adhesión a la estructura dentaria.<sup>2</sup> El sistema de iniciación de la polimerización está integrado en la fase orgánica de una resina compuesta, por lo que es importante valorar la influencia que pueden tener diferentes fotoiniciadores. En esta investigación se estudiaron los enantiómeros de la Camforoquinona y Fenilpropanodiona.

La propuesta de emplear un monómero metacrilato trifuncional, como es el Trimetilolpropano trimetacrilato, se basa en las bondades que mostró en un estudio previo<sup>36</sup>, donde se preparó como parte de la formulación de un adhesivo para uso ortodóntico, siendo empleado como único monómero. López-Palacios lo comparó con un monómero bifuncional (Bis-GMA), y encontró que el TMPTMA presenta facilidad de manipulación, al ser fotopolimerizable se puede administrar el tiempo de trabajo, mínima sorción acuosa, baja solubilidad y bajo módulo elástico.

En la literatura se menciona la importancia de la formación de redes poliméricas y de la interacción que tienen dichas redes para formar entrecruzamientos, el cual procede generalmente a través de entrecruzamiento intermolecular entre los grupos vinílicos pendientes de las macromoléculas, entonces el entrecruzamiento

intermolecular entre las partículas resultantes inducen múltiples entrecruzamientos para producir un material polimérico más resistente a la tensión, por citar un ejemplo. Por lo tanto, la formación de dicho material polimérico depende fuertemente de las características del monómero empleado.

El TMPTMA es un monómero trifuncional que contribuye a la formación de redes tridimensionales compactas.<sup>34</sup> De acuerdo a Qi<sup>86</sup>, el TMPTMA por su estructura rígida, garantiza la ciclización intramolecular y el entrecruzamiento múltiple durante la polimerización por radicales de los monómeros de TMPTMA, causando una mayor conversión monomérica.

Es importante conocer las características que puede presentar este monómero como parte de una resina compuesta, pero antes de formularla con un material de relleno, se debe caracterizar como resina. Para lo cual se decidió estudiar el comportamiento químico y físico de la resina, y conocer los alcances que presenta el material empleando únicamente este monómero. Por otra parte, es esencial en la obtención de un material polimérico, determinar el sistema de iniciación. Y comparar sus características frente a una resina experimental a base de dimetacrilato de uretano, que es de amplio uso en resinas compuestas dentales.

La importancia de los fotoiniciadores empleados en el sistema de iniciación en las resinas compuestas dentales se debe a que estos absorben luz y toman las moléculas en estados excitados. La fotopolimerización emplea energía lumínica para iniciar las reacciones fotoquímicas al convertir monómeros en polímeros. De esta manera se pueden formar nuevos materiales poliméricos, así como lograr el entrecruzamiento de las macromoléculas desarrolladas o preexistentes. Se ha hecho notar que el mejoramiento de la fotopolimerización es crítica para la optimización de propiedades mecánicas, biocompatibilidad y estabilidad de color de resinas dentales fotoactivadas.<sup>39</sup> En adición, la concentración óptima del fotoiniciador y de la amina del sistema de fotoiniciación se ha convertido en algo muy importante, en el caso del campo de la ingeniería tisular donde los materiales están en contacto íntimo con tejidos altamente vascularizados.<sup>87</sup>

Muchos sistemas de fotoiniciación usados para resinas dentales comerciales consisten de dos componentes (sistema binario): (1) El fotoiniciador (típicamente una Camforoquinona, CQ, sintetizada por Dart y Nemcek) la cual puede absorber directamente la luz y (2) un coiniador (también llamado acelerador, típicamente una amina terciaria) que no absorbe la luz pero interactúa con el fotoiniciador activado para generar un radical libre reactivo e iniciar la polimerización. La absorción de la luz por el fotoiniciador conduce a la creación de dos estados excitados: (a) el estado “singulete” que no implica la inversión del espín electrónico, y (b) el estado triplete, el cual es el relevante para la formación de radicales libres y de una vida media muy corta. En el estado triplete, el fotoiniciador puede interactuar con una molécula de amina para generar un complejo excitado, el “exciplex”. Por lo tanto, el fotoiniciador abstrae un átomo de hidrógeno del carbono alfa  $\alpha$  de la amina terciaria dando como resultado la formación de radicales libres.<sup>42,45,87,88</sup> (Figura 39).

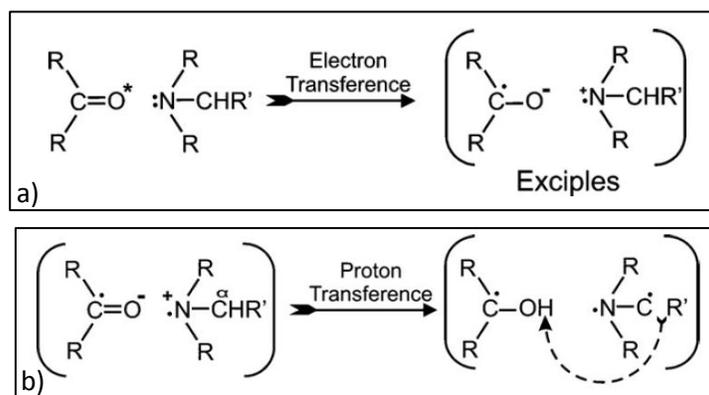


Figura 39. Formación de radicales libres. a) Absorción de luz y formación de exciplex, b) transferencia de un átomo de hidrógeno de la amina al fotoiniciador.

En las resinas dentales formuladas con un sistema de fotoiniciación binario, los factores que afectan tanto al fotoiniciador como a la amina como también a las propiedades del polímero resultante son la concentración, la proporción de cada uno, la estructura molecular de la amina y la reactividad de los radicales formados para iniciar la polimerización de los monómeros.<sup>41,47</sup> Yoshida y Greener<sup>89</sup>

reportaron que el grado de conversión alcanza un máximo con la relación molar amina/fotoiniciador de 3.0 empleando Camforoquinona y 2-(N,N-dimetilamino) etilmetacrilato (DMAEMA) en un sistema comonomérico (TEGDMA/UDMA). En este estudio se emplearon cuatro concentraciones en peso de fotoiniciador (0.15 %, 0.40 %, 1.0 % y 1.5 %) en una relación 1:1 con la amina terciaria, el cociente molar entre las CQ's (R y S) y la DMPT es de .81, y el cociente molar entre PPD y DMPT es de .91.

Estos sistemas de fotoiniciación binarios de fotoiniciador/amina tienen sus propias desventajas, como son la toxicidad de las aminas utilizadas y el color amarillo de los materiales curados causados por la oxidación de la amina. Por otra parte, en los sistemas de fotoiniciación de dos componentes como son CQ/amina, la interacción de ambos está fuertemente influenciada por la viscosidad del medio. Se ha reportado de la fotosensibilización a la luz visible del CQ, que es un alfa dicarbonilo, tiene un máximo de absorción a 468 nm.<sup>80</sup> En este estudio se identificó el máximo de absorción de los enantiómeros de Camforoquinona, encontrándose que ambos van de un rango de 400 a 500 nm con una ligera diferencia en su máxima absorción, Camforoquinona-R un máximo en 460 nm, y Camforoquinona-S un máximo en 457 nm (gráfica 3). La CQ es ampliamente utilizada en resinas dentales y formulaciones de adhesivos, es un compuesto sólido de color amarillo con un grupo cromóforo, de modo que grandes cantidades de CQ en formulaciones de resina conducen a un color amarillo no deseable, que afecta la apariencia estética final del material curado. Este, en su vez, coloca límites prácticos en la concentración de CQ y, en consecuencia, limita el grado de polimerización y la profundidad de curado que se puede alcanzar.<sup>50, 90</sup>

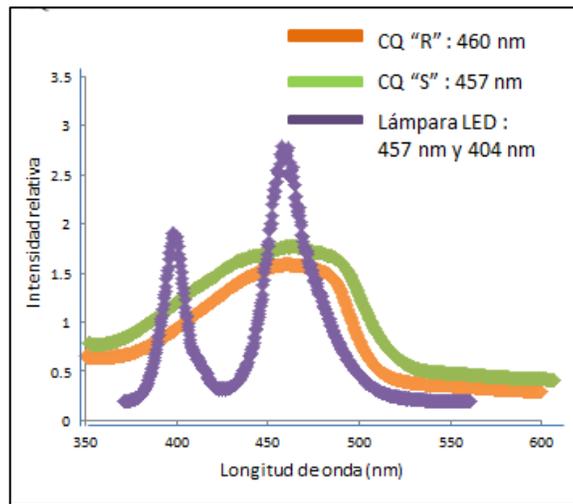
La CQ tiene otros inconvenientes como la baja eficiencia de polimerización, así como la genotoxicidad y citotoxicidad.<sup>57</sup> La fotólisis de una dicetona conduce a la escisión homolítica del enlace C-C entre los dos grupos carbonilo, que resulta en dos radicales carbonilo. Este par radical puede sufrir el escape para formar productos de fotodescomposición. Sin embargo, los dos radicales carbonilo en CQ

están estructuralmente conectados el uno al otro y la probabilidad de su recombinación en CQ es mayor.<sup>91</sup> En los artículos revisados para este trabajo de investigación no se menciona cuál de los enantiómeros es utilizado, lo que deja abierta la posibilidad de que puedan hacerse estudios más específicos sobre las características que brinda uno u otro.

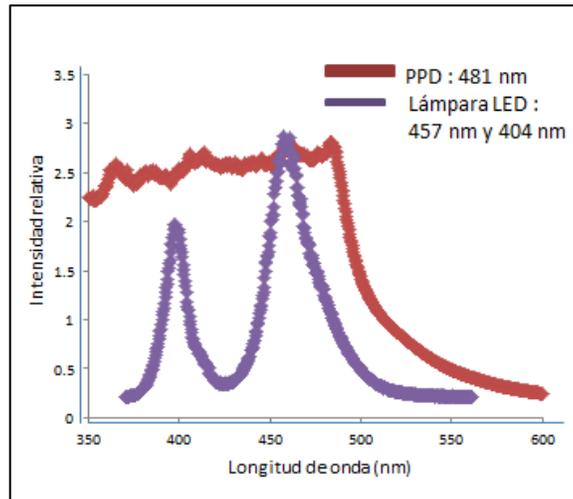
La Fenilpropanodiona (PPD) se sugirió como un fotoiniciador para su aplicación en materiales compuestos dentales en 1999 por Park.<sup>50</sup> Su incorporación como fotoiniciador se da con la intención de disminuir el color amarillo de las resinas compuestas y de disminuir el esfuerzo producto del encogimiento por polimerización. Dentro de las características que se mencionan de la PPD, es que la máxima de absorción se encuentra en la región cercana a la UV extendiéndose ligeramente dentro de la región de luz visible, pudiendo ser considerado un mejor iniciador UV que un fotoiniciador de luz visible. Algunos trabajos mostraron que el PPD puede producir resinas compuestas con propiedades comparables a las producidas con CQ al ser fotoactivadas con lámparas de halógena y LED.<sup>92,93</sup> En este trabajo de investigación se encontró por medio de la espectroscopia UV-visible que la máxima de absorción del PPD se encuentra dentro de la región UV pero se logra extender hasta los 481 nm (gráfica 4) abarcando sin ningún problema la región del color azul, presente en las lámparas de fotoactivado que hay en el mercado odontológico.

En cuanto al dispositivo empleado para la fotoactivación, la lámpara Bluephase C8<sup>®</sup> G2 en modo continuo alto (High) mostro dos bandas de emisión de luz (gráfica 2) abarcando un rango de los 390 a 490 nm, con dos máximas en los 404 y 457 nm. Mostrando que es adecuada para la sensibilización de los tres fotoiniciadores probados en este estudio (gráficas 45 y 46).

Gráfica 45. Espectro emitido por la lámpara y los espectros de absorción de las Camforoquinonas.



Gráfica 46. Espectro emitido por la lámpara y espectro de absorción de la Fenilpropanodiona.



La lámpara proporciona una densidad de potencia de  $500 \text{ mW/cm}^2$  en un tiempo de 20 segundos. La densidad de energía, la cual es el cociente obtenido al multiplicar la irradiancia por el tiempo, es de  $10 \text{ J/cm}^2$ . La literatura establece que para obtener un fotopolimerizado adecuado de los materiales dentales poliméricos, estos deben ser fotoactivados con una densidad de energía por arriba

de los  $16 \text{ J/cm}^2$ ,<sup>55</sup> por lo cual se tomó la decisión de fotopolimerizar las resinas experimentales en modo High por 40 segundos obteniéndose  $20 \text{ J/cm}^2$  para una densidad de energía adecuada. Además de conectar la lámpara a la corriente eléctrica a través de un regulador de voltaje, y de esta manera asegurar que no hubiera variación en los valores de irradiancia. De esta manera, se asegura que la lámpara a utilizar cumple con el requerimiento básico para poder fotoactivar las resinas experimentales con los tres fotoiniciadores a estudiar.

La energía de luz emitida fue de  $20 \text{ J/cm}^2$ . En el estudio de Teshima<sup>94</sup>, muestra la importancia de la energía generada para la producción de radicales libres en sistemas de iniciación con Camforoquinona (sin mencionar que tipo de enantiómero) y dos aceleradores (aminas), Dimetil p-toluidina (DMPT) y Dimetilamino etilmetacrilato (DMAEMA). En dicho estudio el autor encuentra que el sistema fotoiniciador CQ/DMPT genera mayor número de radicales que el sistema CQ/DMAEMA, infiriendo que la causa probable de que esto suceda se debe a que la amina aromática terciaria (DMPT) con un sustituyente donante de electrón “para” puede donar más hidrógenos que una amina alifática terciaria (DMAEMA) que cuenta con un sustituyente aceptor de electrones. Por lo cual los radicales aminos del DMPT son más inducibles por la Camforoquinona excitada que por los radicales aminos de la DMAEMA. Por lo cual se tomó la decisión de emplear la DMPT para nuestro estudio.

El grado de conversión ha sido ampliamente determinado en distintos estudios empleando espectroscopia infrarroja.<sup>26,39-41,47,57-59,64-66,73,75,82,85,87,89,90,93</sup> En esta tesis, se empleó un Espectrofotómetro de Infrarrojo por Transformada de Fourier equipado con accesorio ATR (Reflectancia Total Atenuada). Una vez identificadas las bandas correspondientes a la absorción del doble enlace carbono-carbono en estiramiento de las mezclas de resina a  $1637 \text{ cm}^{-1}$  y de la absorción del doble enlace carbono-oxígeno a  $1715 \text{ cm}^{-1}$  se procedió a emplear la fórmula previamente descrita en la sección de Material y métodos, obteniéndose los

resultados del porcentaje de grado de conversión para las mezclas de resina preparadas con TMPTMA y las preparadas con UDMA.

Las resinas preparadas con TMPTMA presentaron un rango de grado de conversión de 14.1 a 27.1 %. El grado de conversión es muy bajo, comparado con los que se han obtenido con dimetacrilatos (tabla 1). En 2003, Kim<sup>95</sup> empleo 2 monómeros metacrilatos trifuncionales, 1,1,1-tris[4-(20-hydroxy-30-methacryloyloxypropoxy)phenyl]ethane (THMPE), y 1,1,1-tris[4-(20-hydroxy-30-methacryloyloxypropoxy)phenyl]methane (THMPM) para la formulación de resinas sin relleno, y probar su grado de conversión, encogimiento y resistencia a la flexión. Estos monómeros presentan alto peso molecular (733 y 719 g/mol respectivamente) y muy alta viscosidad (3510 y 2300 Pa.s respectivamente) comparados con el peso molecular y viscosidad del TMPTMA (338 g/mol y 0.04 Pa.s). En sus resultados de grado de conversión obtuvieron un rango de conversión de 53 a 60 % en las resinas sin relleno. El autor menciona que el alto grado de conversión puede ser atribuido, en parte, al volumen molecular tan alto que presentan estos monómeros pero que se necesitan de más estudios para comprobarlos. Al comparar estos tipos de metacrilatos trifuncionales con el TMPTMA, estos obtuvieron muy bajo grado de conversión. Mientras, en este estudio, las resinas preparadas con UDMA presentaron un grado de conversión con un rango de 45.7 a 73.2 % (gráfica 9). En un artículo se maneja el grado de conversión para UDMA de 70 %<sup>26</sup> el cual es muy parecido al encontrado en este estudio.

El grado de conversión final de una resina depende de la estructura química del monómero. En las mezclas de resina preparadas con UDMA, el grado de conversión es mayor que TMPTMA. Como comenta Sideridou<sup>26</sup>, muy probablemente esto se deba a las reacciones de transferencia de cadena causadas por los grupos -NH- presentes en la estructura química del monómero, que aumentan la movilidad de los sitios de radicales en la red, y con ellos ofrecen

un patrón alternativo de continuación de la polimerización hasta que la muestra está completamente en el estado vítreo.

Además de la estructura química del monómero, también influye la concentración del fotoiniciador en el grado de conversión final de una resina. El fotoiniciador es de suma importancia ya que es el componente con el cual se inicia la fotopolimerización de las resinas.<sup>96</sup> Se presentaron fuertes correlaciones con el incremento de la concentración del fotoiniciador en las resinas preparadas con TMPTMA y UDMA con correlaciones por arriba de  $R^2 = 0.9$  para los tres fotoiniciadores agregados a las resinas (gráficas 6 y 8). Este aumento de grado de conversión también se presentó en el estudio de Schroeder<sup>85</sup>, al emplear CQ, en porcentajes en peso de 0.5 % y 1.5 % dentro de su formulación en un copolímero con distintos tipos de amina terciaria también aumento su grado de conversión mencionando que con el aumento de sitios reactivos se aumenta la eficacia de la polimerización.

El porcentaje más alto de grado de conversión en TMPTMA fue de 27.1 % al emplear PPD al 1.5 % de concentración. Mientras que en las resinas preparadas con UDMA el porcentaje más alto fue de 73.2 % de grado de conversión a la misma concentración pero empleando CQ-R.

En cuanto a la influencia de los fotoiniciadores en el grado de conversión no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las dos Camforoquinonas. Esto es debido a que los dos enantiómeros reaccionaron en un medio que no es ópticamente reactivo, por lo cual ambos fotoiniciadores tendrán la misma energía de activación, así como la misma velocidad de reacción. Esto se pudo comprobar con los datos de rapidez de polimerización en ambos monómeros, donde tampoco se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos Camforoquinonas (tablas 25 y 26). Los enantiómeros exhiben propiedades diferentes (físicas o químicas) solamente en un medio quiral. Un medio quiral (asimétrico) puede ser entonces el medio reactivo ópticamente activo, que reaccionaría a velocidades diferentes con los enantiómeros.<sup>48</sup>

En las mezclas de resina preparadas con TMPTMA, el uso de PPD ofreció mayor grado de conversión en las concentraciones más altas que las resinas con CQ's. Pero en las resinas preparadas con UDMA, la PPD ofreció menores grados de conversión en las concentraciones más altas que las mezclas de resina que emplearon las CQ'S. Brandt<sup>93</sup> reporto el mismo comportamiento la emplear como fotoiniciadores PPD y CQ en concentración de 0.40 % en peso en mezclas de resinas a base de Bis-GMA/UDMA/Bis-EMA, fotopolimerizando las resinas con dos fuentes diferentes de luz (Halógena y LED). Asmussen<sup>47</sup> reporto que la fotodescomposición de PPD, de manera similar a la CQ, bajo irradiación a 395 nm es promovida por aminas terciarias. Las mediciones UV-VIS que realizó mostraron que la fotodescomposición de PPD/amina en una resina bis-GMA/TEGDMA fue acompañado por la aparición de especies absorbentes de luz superpuestos en el intervalo de absorción de PPD. La irradiación de las muestras de monómero que contiene PPD en combinación con DMAEMA resultó en la disminución de la absorbancia. La absorción de luz por el fotoproducto resultante redujo la tasa de fotoiniciación a lo largo del espesor de la muestra, lo cual es consistente con la velocidad de polimerización más lento. Lo cual parece coincidir con este trabajo, aun cuando la PPD fue combinada con otra amina terciaria, DMPT, mostrando una baja rapidez de polimerización en las resinas de UDMA.

Independientemente del tipo de fotoiniciador empleado, las resinas experimentales a base de TMPTMA con los tres fotoiniciadores y en las cuatro concentraciones diferentes presentaron una fuerte correlación de  $R^2= 0.94$ , al igual que las resinas experimentales a base de UDMA con una fuerte correlación de  $R^2= 0.84$  (gráfica 9).

El proceso de polimerización va acompañado por la fase de pre-gel, la vitrificación del medio de reacción y la formación de la red polimérica heterogénea. La morfología final de una red de dimetacrilato es el resultado de la formación de microgeles, su aglomeración en racimos y sus conexiones. Eso probablemente controla el comportamiento mecánico de la red resultante.<sup>5</sup> Diversos estudios

relacionan el grado de conversión con diferentes propiedades del polímero. En lo que se refiere a la formulación de la resina y al sistema de fotoiniciación, hay un fotoiniciador y una concentración que resulta en una máxima conversión y una máxima dureza del material.<sup>97</sup>

En el caso de TMPTMA, se observó que, al emplear cualquiera de los tres fotoiniciadores y en las cuatro concentraciones, se obtuvo un rango pequeño de grado de conversión (13 unidades porcentuales) pero valores de dureza Vickers muy amplias, de 5.6 HV a 37.5 HV (un rango 31.9 unidades de dureza) con una buena correlación entre el grado de conversión y la dureza obtenida, así como presentar diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones estudiadas. Mientras que en el caso de las mezclas de resina preparadas con UDMA se obtuvieron valores de grado de conversión que iban de 45.7 % hasta 73.2 %, un rango muy amplio (27.5 unidades porcentuales) comparado con el rango obtenido con TMPTMA, pero los valores de dureza Vickers fueron de 19.5 a 24.0 HV, manteniéndose en un rango muy pequeño (4.5 unidades de dureza). Esto hace notar que mientras las resinas de TMPTMA consiguen valores pequeños de grado de conversión puede conseguir valores muy altos de dureza, mientras que las resinas con UDMA obtuvo valores altos de grado de conversión pero su dureza no se vio modificada por el tipo de fotoiniciador ni por las diferencias en las concentraciones (gráfica 14).

Musanje<sup>97</sup> reportó que con el incremento del grado de conversión en sus mezclas de resina también se incrementaron sus valores de dureza Knoop cuando se incrementó la concentración del fotoiniciador, situación similar que se presentó en las mezclas de resina de TMPTMA como de UDMA.

En el estudio de Brandt<sup>93</sup> se compararon resinas compuestas de Bis-GMA/TEGDMA preparadas con CQ y con PPD, obteniendo valores de dureza Knoop que no mostraban diferencias estadísticamente significativas entre los fotoiniciadores, igual que las resinas de TMPTMA y UDMA en este estudio.

Las propiedades de flexión usualmente son buscadas por los investigadores para caracterizar mecánicamente el comportamiento de las resinas compuestas dentales, ya que se menciona que el entrecruzamiento afecta propiedades físicas como la resistencia a la flexión y el módulo elástico.<sup>98</sup>

En las resinas de TMPTMA se observó que a un bajo grado de conversión presento una baja resistencia a la flexión comparado a las resinas de UDMA, las cuales presentaron mayor grado de conversión y diez veces mayor resistencia a la flexión, sin presentarse en ambos monómeros fuertes correlaciones entre el grado de conversión y la resistencia a la flexión.

Las resinas de UDMA son más resistentes (150 MPa) que las de TMPTMA. No se presentaron diferencias en los valores de resistencia a la flexión producto del uso de los tres fotoiniciadores, aunque, en el caso de las resinas de UDMA la concentración de 1.5 % da ligera y mayor resistencia a la flexión que a las otras concentraciones para los tres fotoiniciadores.

En las resinas con UDMA, a diferencia de las resinas a base de TMPTMA, la resistencia tiende a disminuir conforme aumenta la concentración del fotoiniciador sin importar el tipo.

Al comparar la resistencia a la flexión contra la dureza de las resinas experimentales se observó que en las resinas a base de TMPTMA presentaron una baja resistencia a la flexión y una amplitud muy grande entre sus valores de dureza, conforme aumenta la dureza del material aumenta su resistencia a la flexión, aunque esta sea un valor muy bajo comparado con las resinas preparadas con UDMA las cuales presentan valores de resistencia a la flexión altos mientras que sus valores de dureza se encuentran en un rango muy pequeño, y al ir aumentando la resistencia a la flexión su dureza va disminuyendo. Ambas propiedades presentaron una correlación muy débil (gráfica 20).

El módulo elástico a la flexión es mayor (casi el doble) en las resinas preparadas con UDMA que las preparadas con TMPTMA, observándose una relación con el

grado de conversión. Las mezclas de resinas preparadas con ambos monómeros tuvieron una buena correlación con el grado de conversión, ya que ambos tienden a aumentar su módulo de elasticidad al aumentar el grado de conversión (gráfica 25). No se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la influencia del tipo de fotoiniciador en la propiedad de módulo elástico.

Tanto las muestras de TMPTMA como las de UDMA muestran una buena relación con la propiedad de dureza, ya que ambos monómeros tienden a aumentar su dureza conforme aumenta su módulo de elasticidad. Las mezclas de resina preparadas con TMPTMA tienen un bajo módulo elástico, comparado con UDMA, pero un rango muy grande de dureza (gráfica 26).

La correlación entre el módulo elástico a la flexión y la resistencia a la flexión fue buena en las resinas con TMPTMA, mientras que en las mezclas con UDMA no se presentó correlación alguna. Aunque pareciera que las mezclas de resina preparadas con UDMA son más rígidas, que las preparadas con TMPTMA, estas fueron más resistentes a la deflexión durante la prueba de flexión de 3 puntos (Gráfica 27). Las muestras de resina con TMPTMA tienen un bajo módulo elástico pero tienden a resistir muy poca carga y ser muy frágiles, soportando una deflexión menor a los 0.7 mm. En tanto que las muestras con UDMA sufren una deflexión de 3 mm aproximadamente en la concentración de 0.15 % con cualquier fotoiniciador.

Otra de las propiedades que debe tomarse en cuenta en las resinas compuestas dentales es el encogimiento que sufre el material al ser polimerizado. En cuanto a las resinas experimentales preparadas con TMPTMA, presentan un bajo porcentaje de grado de conversión pero presentó el mayor porcentaje de encogimiento comparado con las resinas experimentales formuladas con el dimetacrilato. El mayor porcentaje de encogimiento se obtuvo empleando PPD a una concentración de 0.40 % usando ambos monómeros. No se presentaron correlaciones entre la concentración del fotoiniciador con el porcentaje de encogimiento de los dos monómeros con los tres fotoiniciadores. De igual manera

no se correlaciono el grado de conversión, la dureza Vickers, la resistencia a la flexión, el módulo elástico y la rapidez de polimerización con el encogimiento, en los dos monómeros.

Muchas de las propiedades y características de los materiales fotopolimerizables no solo se relacionan con el grado de conversión que presentan, sino también con la rapidez de polimerización.

Como se mencionó anteriormente, las mezclas de resina preparadas con UDMA presentaron mayor grado de conversión que TMPTMA, muy probablemente debido a las reacciones de transferencia de cadena causadas por los grupos-NH-, que aumentan la movilidad de los sitios de radicales en la red. Estas reacciones de transferencia de cadena también pueden ser responsables de la alta reactividad de polimerización de UDMA.<sup>26</sup> Esto se relaciona con los datos obtenidos de la rapidez de polimerización, la cual es obtenida dentro de los primeros 10 segundos en el que se inicia la fotoactivación de las resinas. Las resinas preparadas con UDMA presentan mayor rapidez de polimerización que las resinas preparadas con TMPTMA. El comportamiento frente al aumento de concentración del fotoiniciador es similar en ambos monómeros, el cual tiende a aumentar conforme se aumenta la concentración, en los tres tipos de fotoiniciadores pero se presenta una correlación muy débil.

En las resinas preparadas con UDMA, la concentración de 0.15 % presenta baja rapidez de polimerización, y las otras tres concentraciones dieron un resultado muy similar. El fotoiniciador PPD tuvo menor rapidez de polimerización que las CQ's (gráfica 39). Asmussen<sup>47</sup> mencionan que en el caso de la PPD el efecto de detección que presenta tiene una rapidez de fotoiniciación generalmente reducida y por consiguiente, una conversión de doble enlace reducido, y esto se presentó en las resinas experimentales con UDMA, pero no así en las preparadas con TMPTMA.

Se ha mencionado que las resinas que contienen UDMA presentan un valor de rapidez de polimerización más alta que otros dimetacrilatos (Bis-GMA, TEGDMA, Bis-EMA) y que TMPTMA en este estudio.

El tipo de polimerización que se da en los monómeros dimetacrilatos generalmente exhibe ciertas características, como autoaceleración, autodesaceleración y una conversión máxima. Este comportamiento es complejo debido al hecho de que la movilidad del medio de reacción disminuye a medida que procede la polimerización.<sup>26,27</sup>

En las resinas preparadas con TMPTMA, se presentaron grados de conversión muy bajos. Se menciona que el medio de reacción al estar en estado líquido, los pasos de propagación y terminación de polimerización son controlados y la reacción de polimerización conlleva una velocidad constante. Sin embargo, como se forma una red grande infinitamente insoluble, los movimientos de los macrorradicales son restringidos y pasados a terminación, lo que implica que la reacción se convierta en una difusión limitada.

En una reacción de polimerización rápida, habrá una disminución en la rapidez de terminación de la reacción, conocido como autoaceleración o efecto gel. Este efecto es más pronunciado en el caso de monómeros viscosos. Durante la fase de gelificación, el sistema de reacción se transforma de un líquido a una goma y consiste en dos especies: el componente sol que consiste principalmente de monómero residual (insoluble pero hinchable en buena porción de disolventes), y el gel que consiste de cadenas de polímeros ramificados y entrecruzados principalmente. A medida que la polimerización avanza, el sistema se vuelve aún más entrecruzado, dado que se da tiempo a que moléculas más pequeñas se unan a cadenas más grandes. Dentro del proceso reacción de polimerización sufre de los fenómenos de aceleración y desaceleración. La región de la autoaceleración inmediata ocurre en la polimerización del UDMA probablemente debido a los átomos de hidrogeno lábiles del grupo -NH-, que favorece en gran medida las reacciones de transferencia de cadena.<sup>26,27</sup> Esto trataría de dar una

explicación de los resultados obtenidos en las resinas preparadas con TMPTMA y UDMA.

Sideridou<sup>26</sup> estudio el efecto de la estructura química sobre el grado de conversión en dimetacrilatos, UDMA, Bis-GMA, TEGDMA y Dimetacrilato de bisfenol A etoxilado (Bis-EMA), mencionando que ha menor tamaño del monómero habrá mayor concentración de dobles enlaces, de esta manera a grados de conversión iguales se exhibiría mayor densidad de entrecruzamiento y formación de redes más ajustadas. En nuestro estudio, TMPTMA presenta tres dobles enlaces Carbono-Carbono, mientras que UDMA solo presenta dos dobles enlaces en la estructura monomérica, pero el mayor grado de conversión lo obtuvo UDMA con 2.7 veces el valor obtenido con TMPTMA.

Sería importante emplear en estudios futuros el uso de otro tipo de métodos de prueba para la determinación del grado de conversión de monómeros metacrilato, aunque se ha utilizado ampliamente FTIR para dimetacrilatos de uso dental para obtenerlo, sería conveniente comparar los datos obtenidos con aquellos que se pudieran obtener de una espectroscopia de resonancia magnética, la cual daría un valor más cercano a la realidad sobre la conversión del monómero a polímero, así como la estructura formada en las cadenas, y poder determinar la importancia de la estructura química de los monómeros.

De igual manera, se puede utilizar los datos de la prueba de contracción, que se empleó en este estudio, para la determinación de la cinética de polimerización, observando los cambios de aceleración y desaceleración que se da durante la reacción química producto de la fotopolimerización de las resinas a base de metacrilatos.

## 6. Conclusiones

Las mezclas de resina preparadas con Trimetilolpropano trimetacrilato presentaron bajo grado de conversión respecto a las obtenidas con Dimetacrilato de uretano. Este bajo grado de conversión en TMPTMA presento relación con bajos valores en las propiedades de resistencia a la flexión, módulo elástico, y rapidez de polimerización. Pero a altas concentraciones de fotoiniciador se presentaron mayores valores de dureza Vickers y de encogimiento por polimerización que las resinas preparadas con UDMA.

Se observó un incremento en las propiedades de grado de conversión, dureza Vickers, resistencia a la flexión (solo TMPTMA), módulo elástico, y rapidez de polimerización al incrementar la concentración del fotoiniciador, sin importar el tipo de fotoiniciador en las resinas de TMPTMA y UDMA.

No se presentaron diferencias en el uso de los enantiómeros de Camforoquinona en las propiedades estudiadas en ambos monómeros. Y solo se presentaron ligeras diferencias entre el uso de PPD frente a las CQ's.

## 7. Referencias bibliográficas

1. Lee YK, Yu B, Lee SH, et al. (2010). Shade compatibility of esthetic restorative materials - A review. *Dental Materials*, 26, 1119-1126.
2. Ferracane JL. (2011). Resin composite – State of the art. *Dental materials*, 27, 29-38.
3. Ramakrishna S, Mayer J, et al. (2001). Biomedical applications of polymer-composite materials: A review. *Composites Science and Technology*, 61, 1189-1224.
4. Scholz MS, Blanchfield JP, et al. (2011). The use of composite materials in modern orthopaedic medicine and prosthetic devices: A review. *Composites Science and Technology*, 71, 1791-1803.
5. Sadowsky SJ. (2006). An overview of treatment considerations for esthetic restorations: A review of the literature. *J Prosthet Dent*, 96, 433-442.
6. Dickens SH, Flaim GM, et al. (2010). Preclinical effectiveness of a novel pulp capping material. *Journal of Endodontics*, 36 (7), 1222-1225.
7. Kühnisch J, Mansmann U, et al. (2012). Longevity of materials for pit and fissure sealing- Results from a meta-analysis. *Dental Materials*, 28, 298-303.
8. Sadek FT, Monticelli F, et al. (2007). Bond strength performance of different resin composites used as core materials around fiber posts. *Dental Materials*, 23, 95-99.
9. Burns DR, Beck DA, et al. (2003). A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: Report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent*, 90 (5), 474-497.
10. Attar N, Tam LE, et al. (2003). Mechanical and physical properties of contemporary dental luting agents. *J Prosthet Dent*, 89 (4), 127-134.
11. Krauss J, Faltermeier A et al. (2010). Evaluation of alternative polymer bracket materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 137, 362-367.
12. Zamboni MF, Garone N, et al. (2014). Effect of post translucency on bond strength of different resin luting agents to root dentin. *J Prosthet Dent*, 111, 35-41.
13. Stewardson DA, Shortall AC, et al. (2010). The flexural properties of endodontic post materials. *Dental Materials*, 26, 730-736.
14. Schwartz RS, Fransman R. (2005). Adhesive dentistry and endodontics: Materials, clinical strategies and procedures for restoration of access cavities: A review. *Journal of Endodontics*, 31 (3), 151-165.
15. Anusavice, KJ. (2008). Resinas para restauración. En H.R. Rawls y J.E. Upshaw. (Ed.), *Ciencia de los materiales dentales de Phillips*. 11ª Edición (pp. 399-437). México: Editorial Saunders Elsevier.
16. McCabe JF, y Walls AWG. (2008). Resin-based filling materials. *Applied Dental Materials*. 9ª Edición (pp.195-224). Iowa, EUA: Editorial Blackwell Publishing.
17. Rodríguez DR, Pereira NA. (2008). Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta Odontológica Venezolana*, 46 (3), 1-19.
18. Moszner N, y Ulrich S. (2001). New developments of polymeric dental composites. *Prog. Polym. Sci.*, 26, 535-576.
19. Venhoven BAM, de Gee AJ, et al. (1996). Influence of filler parameters on the mechanical coherence of dental restorative resin composites. *Biomaterials*, 17, 735-740.
20. Jandt KD, Sigusch BW. (2009). Future perspectives of resin-based dental materials. *Dental Materials*, 25, 1001-1006.
21. Roy D, Cambre JN, Sumerlin BS. (2010). Future perspectives and recent advances in stimuli-responsive materials. *Progress in Polymer Science*, 35, 278-301.
22. Wu DY, Meure S, Solomon D. (2008). Self-healing polymer materials: A review of recent developments. *Prog. Polym. Sci.*, 33, 479-522.
23. Petrini M, Ferrante M, et al. (2013). Fabrication and characterization of biomimetic ceramic/polymer composite materials for dental restoration. *Dental Materials*, 29, 375-381.

24. Melo MAS, Guedes SFF, et al. (2013). Nanotechnology-based restorative materials for dental caries management. *Trends in Biotechnology*, 31 (8), 459-467.
25. Claro-Pereira D, Sampaio-Mai B, Ferreira C, et al. (2011). In situ evaluation of a new silorane-based composite resin's bioadhesion properties. *Dental Materials*, 27, 1238-1245.
26. Sideridou I., Tserki V., y Papanastasiou G. (2002) Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*, 23, 1819–1829.
27. Barszczewska-Rybarek IM. (2009). Structure–property relationships in dimethacrylate networks based on Bis-GMA, UDMA and TEGDMA. *Dental Materials*, 25 (9), 1082-1089.
28. Rüttermann S, Dluzhevskaya I, et al. (2010). Impact of replacing Bis-GMA and TEGDMA by other commercially available monomers on the properties of resin-based composites. *Dental Materials*, 26, 353-359.
29. Perfil técnico Wave, SDI Limited, Australia.
30. Moszner N, Fischer UK., Angermann J, Rheinberger V. (2008). A partially aromatic urethane dimethacrylate as a new substitute for Bis-GMA in restorative composites. *Dental Materials*, 24 (5), 694-699.
31. Spahl W, Budzikiewicz H, et al. (1998). Determination of leachable components from four commercial dental composites by gas and liquid chromatography/mass spectrometry. *Journal of Dentistry*, 26 (2), 137-145.
32. Moharamzadeh K, Van Noort R, et al. (2007). Cytotoxicity of resin monomers on human gingival fibroblast and HaCaT keratinocytes. *Dental Materials*, 23, 40-44.
33. Thonemann B, Schmalz G, et al. (2002). Response of L929 mouse fibroblasts, primary and immortalized bovine dental papilla-derived cell lines to dental resin components. *Dental Materials*, 18, 318-323.
34. Price CA. (1986). The Effect of Cross-linking Agents on the Impact Resistance of a Linear Poly(methyl methacrylate) Denture-base Polymer. *J Dent Res*, 65 (7), 987-992.
35. Technical Information. (2011). Trimetilolpropane trimethacrylate (TMPTMA). Petrochemicals Specialty Monomers. BASF The Chemical Company.
36. López-Palacios, E. (2011). *Desarrollo de un adhesivo con base Trimerilol Propano Trimetacrilato con posible aplicación ortodóncica*. Tesis de Maestría. FO. UNAM, México.
37. Perfil técnico. (2007). Adper SE plus, 3M ESPE. MN, USA.
38. Ferrecane JL, Greener EH. (1986). The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *Journal of Biomedical Materials Research*, 20 (1), 121-131.
39. Shin. DH, Rawls HR. (2009). Degree of conversion and color stability of the light curing resin with new photoinitiator systems. *Dental Materials*, 25, 1030-1038.
40. Imazato S, Tarumi H, et al. (1995). Relationship between the degree of conversion and internal discoloration of light-activated composite. *Dental Materials*, 14 (1), 23-30.
41. Ogunyinka A, Palin WM, et al. (2007). Photoinitiation chemistry affects light transmission and degree of conversion of curing experimental dental resin composites. *Dental Materials*, 23, 807–813.
42. Neumann MG, Schmitta CC, et al. (2006). The initiating radical yields and the efficiency of polymerization for various dental photoinitiators excited by different light curing units. *Dental Materials*, 22, 76–584.
43. Watts DC. (2005). Relation kinetics and mechanics in photo-polymerised networks. *Dental Materials*, 21(1), 27-35.
44. Segurola J, Allen N, et al. (1999). Photochemistry and photoinduced chemical crosslinking activity of acrylated prepolymers by several commercial type I far UV photoinitiators. *Polymer Degradation and Stability*, 65, 153-160.
45. Alvim HH, Aleciob AC, et al. (2007). Analysis of camphorquinone in composite resins as a function of shade. *Dental Materials*, 23, 1245–1249.
46. Wang Y, Feng T, et al. (2010). Phosphorescence properties and chiral discrimination of camphorquinone enantiomers in the presence of  $\alpha$ -cyclodextrin and 1,2-dibromoethane. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 212, 49-55.

47. Asmussen S, Vallo C. (2009). Light absorbing products during polymerization of methacrylate monomers photoinitiated with phenyl-1,2-propanedione/amine. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 202, 228–234.
48. Jaramillo LM, (2002). Química Orgánica General. Estereoquímica. Universidad del Valle. Santiago de Cali.
49. Viacava A. (2005). Efecto del L-name en la analgesia experimental inducida por dexketoprofeno y ketoprofeno. Facultad de Chile. Universidad de Chile. Chile.
50. Park YJ, Chae KH. ((1999). Development of a new photoinitiation system for dental light-cure composite resins. *Dental materials*, 15, 120-127.
51. Stahl F, Ashworth SH, et al. (2000). Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: flexural properties and polymerisation potencial. *Biomaterials*, 21, 1379-85.
52. Rueggeberg FA. (2011). State-of-the-art: Dental photocuring - A review. *Dental Materials*, 27, 39-52.
53. Leonard DL, Charlton DG, et al. (2002). Polymerization efficiency of LED curing lights. *J Esthet Restor Dent*, 14, 286-295.
54. Vandewalle KS, Ferracane JL, et al. (2004). Effect of energy density on properties and marginal integrity of posterior resin composite restorations. *Dental Materials*, 20, 96-106.
55. Lovell LG, Newman SM, et al. (2003). The effect of light intensity on double bond conversion and flexural strength of a model, unfilled dental resin. *Dental Materials*, 19, 458-465.
56. Ferracane JL. (1985). Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater*, 1, 11-14.
57. Li YC, Huang FM, et al. (2006). Protective effects of antioxidants on micronuclei induced by camphorquinone/N,N-dimethyl-p-tolouidine employing in vitro mammalian test system. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*.
58. Halvorson RH, Erickson RL, et al. (2002). Energy dependent polymerization of resin-based composite. *Dental Materials*, 18, 463-469.
59. Halvorson RH, Erickson RL, et al. (2003). The effect of filler and silane content on conversion of resin-based composite. *Dental materials*, 19, 327-333.
60. Leung RL, Fan PL, et al. (1983). Post Irradiation Polymerization of Visible-light Activated Composite Resins, *J Dent Res*, 62, 363-365.
61. Morgan DR, Kalachandra S, et al. (2000). Analysis of a dimethacrylate copolymer (Bis-GMA and TEGDMA) network by DSC and <sup>13</sup>C solution and solid-state NMR spectroscopy. *Biomaterials*, 21, 1897-1903.
62. Pereira SG, Nunes TG, et al. (2002). Low viscosity dimethacrylate comonomer compositions (Bis-GMA and CH<sub>3</sub>Bis-GMA) for novel dental composites; analysis of the network by stray-field MRI, solid-state NMR and DSC & FTIR. *Biomaterials*, 23, 3799-3806.
63. Imazato S, McCabe JF, et al. (2001). Degree of conversion of composites by DTA and FTIR. *Dental Materials*, 17, 178-183.
64. Ferracane JL, Greener EH. (1984). Fourier Transform Infrared Analysis of degree of polymerization in unfilled resins-Methods comparison. *J Dent Res*, 63, 1093-1095.
65. Rueggeberg, FA, (1988). Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res*, 67, 932-937.
66. Rueggeberg FA, Hashinger DT, et al. (1990). Calibration of FTIR conversión analysis of contemporary dental resin composites. *Dent Mater*, 6(4), 241-9.
67. Bouschlicher M, Rueggeberg F, et al. (2004). Correlation of composite bottom-to-top microhardness and conversion values. *Oper Dent*, 29 (6), 698-704.
68. Korichi AA, Mouzali M, et al. (2009). Effects of monomer ratios and highly radiopaque fillers on degree of conversion and shrinkage-strain of dental resin composites. *Dent Mater*, 25, 1411-1418.
69. Shahdad SA, MaCabe JF, et al. (2007). Hardness measured with traditional Vickers and Martens hardness methods. *Dent Mater*, 23, 1079-1085.
70. Schneider JM, Bigerelle M, et al. (1999). Statistical analysis of the Vickers hardness. *Materials Science and Engineering*, A262, 256-263.

71. Marovic D, Panduric V, et al. (2013). Degree of conversion and microhardness of dental composite resin materials. *Journal of Molecular Structure*, 1044, 299-302.
72. Palin WM, Fleming GJP, et al. (2003). Monomer conversion versus flexure strength of a novel dental composite. *Journal of Dentistry*, 31, 341-351.
73. Venhoven BAM, de Gee AJ, et al. (1996). Light initiation of dental resins: dynamics of the polymerization. *Biomaterials*, 17, 2313-2318.
74. Davidson CL, Feilzer AJ. (1997). Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *Journal of Dentistry*, 25 (6), 435-440.
75. Silikas N, Eliades G, Watts DC. (2000). Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater*, 16, 292-296.
76. Álvarez-Gayosso CA, Barceló-Santana F, et al. (2004). Calculation of contraction rates due to shrinkage in light-cured composites. *Dent Mater*, 20, 228-235.
77. Braga RR, Ballester RY, et al. (2005). Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: A systematic review. *Dent Mater*, 21, 962-970.
78. Dewaele M, Asmussen E, et al. (2009). Influence of curing protocol on selected properties of light-curing polymers: Degree of conversion, volume contraction, elastic modulus, and glass transition temperature. *Dent Mater*, 25, 1576-1584.
79. Bluephase C8 G2. (2009). Ivoclar Vivadent. Liechtenstein.
80. Barszczewska IM. (2012). Quantitative determination of degree of conversion in photocured poly(urethane-dimethacrylate)s by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of Applied Polymer Science*, 123, 1604–1611
81. Manual for Micro Hardness Tester Model MHT-2. Matsuzawa Seiki Co. Japan.
82. Tomlinson SK, Ghita OR, et al. (2007). Monomer conversion and hardness of novel dental cements based on ethyl cyanoacrylate. *Dental Materials*, 23, 799-806.
83. Bhamra GS, Fleming GJP, et al. (2010). Influence of LED irradiance on flexural properties and Vickers hardness of resin-based composite materials. *Dental Materials*, 26, 148-155.
84. Andrzejewska E. (2001). Photopolymerization kinetics of multifunctional monomers. *Prog. Polym. Sci.* 26, 601-665.
85. Schroeder WF, Vallo CI. (2007). Effect of different photoinitiator systems on conversion profiles of a model unfilled light-cured resin. *Dental Materials*, 23, 1313-1321.
86. Qi T, Sonoda A, Makita Y, et al. (2002). Porous properties of pli(glycidyl methacrylate-co-trimethylolpropane trimethacrylate) resins synthesized by suspension polymerization. *Journal of Applied Polymer Science*, 83, 2374-2381.
87. Moon HJ, Shin DH. (2012). Effect of CQ-amine ratio on the degree of conversion in resin monomers with binary and ternary photoinitiation systems. *Restorative Dentistry and Endodontics*. *Restorative Dentistry and Endodontics*, 96-103.
88. Stansbury JW. (2000). Curing dental resins and composites by photopolymerization. *J Esthet Dent*, 12 (6), 300-308.
89. Yoshida K, Greener EH. (1994). Effect of photoinitiator on degree of conversion of unfilled light-cured resin. *J. Dent*, 22, 296-299.
90. Rueggeberg FA, Ergle JW, et al. (1997). Effect of photoinitiator level on properties of a light-cured and post-cure heated model resin system. *Dent Mater*, 13, 360-364.
91. Sun GJ, Chae KH. (2000). Properties of 2,3-butanedione and 1-phenyl-1,2-propanedione as new photosensitizers for visible light cured dental resin composites. *Polymer*, 41, 6205-6212.
92. Schneider LF, Cavalcante LM, et al. (2009). Effect of co-initiator ratio on the polymer properties of experimental resin composites formulated with camphorquinone and phenyl-propanedione. *Dental Materials*, 25, 369-375.
93. Brandt WC, Tomaselli LO, et al. (2011). Can phenyl-propanedione influence Knoop hardness, rate of polymerization and bond strength of resin composite restorations? *Journal of Dentistry*, 39, 438-447.
94. Teshima W, Nomura Y, et al. (2003). ESR study of camphorquinone/amine photoinitiator systems using blue light-emitting diodes. *Biomaterials*, 24, 2097-2103.

95. Kim JG, Chung CM. (2003). Trifunctional methacrylate monomers and their photocured composites with reduced curing shrinkage, water sorption, and water solubility. *Biomaterials*, 24, 3845-3851.
96. Neumann MG, Schmitt CC, et al. (2008). The effect of using mixed initiator system on the efficiency of photopolymerization of dental resins. *J Braz Chem Soc*, 19 (7), 1413-1417.
97. Musanje L, Ferracane JL, et al. (2009). Determination of the optimal photoinitiator concentration in dental composites based on essential material properties. *Dental Materials*, 25, 994-1000.
98. Floyd CJE, Dickens SH. (2006). Network structure of Bis-GMA, and UDMA-based resin systems. *Dental Materials*, 22, 1143-1149.

**Massachusetts Right To Know Componentes**

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachussets.

**Pennsylvania Right To Know Componentes**

	No. CAS	Fecha de revisión
TRIMETHYLOLPROPANE TRIMETHACRYLATE	3290-92-4	

**New Jersey Right To Know Componentes**

	No. CAS	Fecha de revisión
TRIMETHYLOLPROPANE TRIMETHACRYLATE	3290-92-4	

**Prop. 65 de California Componentes**

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

**16. OTRA INFORMACIÓN**

**Otros datos**

Copyright 2013 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Diríjase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

**Si es inhalado**

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial.

**En caso de contacto con la piel**

Eliminar lavando con jabón y mucha agua.

**En caso de contacto con los ojos**

Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

**Si es tragado**

Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua.

**5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**

**Condiciones de inflamabilidad**

No inflamables o combustibles

**Medios de extinción apropiados**

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

**Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

**Productos de combustión peligrosos**

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx)

**6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**

**Precauciones personales**

Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas.

**Precauciones relativas al medio ambiente**

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

**Métodos y material de contención y de limpieza**

Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

**7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

**Condiciones para el almacenaje seguro**

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Temperatura de almacenaje recomendada: 2 - 8 °C

**8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL**

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

**Protección personal**

**Protección respiratoria**

No se requiere protección respiratoria. Para exposiciones molestas use cartuchos de respirador de tipo OV / AG (EE.UU.) o ABEK (UE EN 14387). Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

**Protección de las manos**

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

**Protección de los ojos**

Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

**Protección de la piel y del cuerpo**

Indumentaria impermeable. El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la

**SIGMA-ALDRICH**

**Hoja Técnica de Seguridad del Material**

[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)

Versión 4.2

Fecha de revisión 04/04/2013

Fecha de impresión 10/23/2013

**1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA**

Nombre del producto : Diurethane dimethacrylate, mixture of isomers

Referencia : 436909

Marca : Aldrich

Proveedor : Sigma-Aldrich Química, S. de  
R.L. de C.V.  
Parque Industrial Toluca 2000  
Calle 6 Norte No. 107  
50200 TOLUCA  
MEXICO

Teléfono : +52 (0)1-800-007-5300

Fax : +52 (0)1-800-712-9920

Teléfono de Urgencia

(Tanto para el proveedor

como para el fabricante)

Información suministrada por : Sigma-Aldrich Corporation

Product Safety - Americas Region

1-800-521-8956

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

**Revelión de la Emergencia**

Peligros OSHA

Ningunos peligros sabidos del OSHA

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado (SGA).

**HMIS Classification**

Health hazard: 0

Flammability: 0

Physical hazards: 0

**Clasificación NFPA**

Peligro para la salud: 0

Fuego: 0

Peligro de Reactividad: 0

**Efectos potenciales para la Salud**

Inhalación Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.

Piel Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.

Ojos Puede provocar una irritación en los ojos.

Ingestión Puede ser nocivo en casa de ingestión.

**3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**

Formula : C<sub>23</sub>H<sub>38</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>

Peso molecular : 470.56 g/mol

Ningún ingrediente peligroso de acuerdo con el Estándar de Comunicación de Riesgos de OSHA 29CFR 19101200.

**4. PRIMEROS AUXILIOS**

Apéndice 1. Dimetacrilato de uretano. Hoja de seguridad.

8. Apéndice

**Productos de descomposición peligrosos**  
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx)  
Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles  
Contiene el estabilizador(es) siguiente(s):  
BHT (->200 - <-250 ppm)

#### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

##### Toxicidad aguda

Oral DL50  
sin datos disponibles

Inhalación CL50  
sin datos disponibles

Cutáneo DL50  
sin datos disponibles

Otra información sobre toxicidad aguda  
sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas  
sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves  
sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea  
sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales  
sin datos disponibles

##### Carcinogenicidad

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

ACGIH: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by ACGIH.

NTP: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a known or anticipated carcinogen by NTP.

OSHA: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by OSHA.

##### Toxicidad para la reproducción

sin datos disponibles

Teratogenicidad  
sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (SGA)  
sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas (SGA)  
sin datos disponibles

Peligro de aspiración  
sin datos disponibles

Efectos potenciales sobre la salud

cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Medidas de higiene  
Procedimiento general de higiene Industrial.

#### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

##### Aspecto

Forma líquido

Color sin datos disponibles

##### Datos de Seguridad

pH sin datos disponibles

Punto de fusión/  
punto de congelación sin datos disponibles

Punto de ebullición 200 °C (392 °F) - lit.

Punto de inflamación > 113.00 °C (> 235.40 °F) - copa cerrada

Temperatura de ignición sin datos disponibles

Temperatura de auto-inflamación sin datos disponibles

Límites inferior de explosividad sin datos disponibles

Límites superior de explosividad sin datos disponibles

Presión de vapor sin datos disponibles

Densidad sin datos disponibles

Solubilidad en agua sin datos disponibles

Coefficiente de reparto n-  
octano/agua sin datos disponibles

Densidad relativa del vapor sin datos disponibles

Color sin datos disponibles

Umbral olfativo sin datos disponibles

Tasa de evaporación sin datos disponibles

#### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química  
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

Possibilidad de reacciones peligrosas  
sin datos disponibles

Condiciones que deben evitarse  
sin datos disponibles

Materias que deben evitarse  
Agentes oxidantes fuertes

**Pennsylvania Right To Know Componentes**

Diurethane dimethacrylate, mixture of isomers

No. CAS  
72869-86-4

Fecha de revisión

**New Jersey Right To Know Componentes**

Diurethane dimethacrylate, mixture of isomers

No. CAS  
72869-86-4

Fecha de revisión

**Prop. 65 de California Componentes**

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

**16. OTRA INFORMACIÓN****Otros datos**

Copyright 2013 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento está basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Diríjase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

Inhalación  
Ingestión  
Piel  
Ojos

Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.  
Puede ser nocivo en casa de ingestión.  
Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.  
Puede provocar una irritación en los ojos.

**Efectos sinérgicos**  
sin datos disponibles**Información Adicional**  
RTECS: sin datos disponibles**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA****Toxicidad**

sin datos disponibles

**Persistencia y degradabilidad**  
sin datos disponibles**Potencial de bioacumulación**  
sin datos disponibles**Movilidad en el suelo**  
sin datos disponibles**Valoración PBT y MPMB**  
sin datos disponibles**Otros efectos adversos**  
sin datos disponibles**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN****Producto**

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE****DOT (US)**

Not dangerous goods

**IMDG**

Not dangerous goods

**IATA**

Not dangerous goods

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA****Peligro OSHA**

Ningunos peligros sabidos del OSHA.

**SARA 302 Componentes**

SARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

**SARA 313 Componentes**

SARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Mínimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

**SARA 311/312 Peligros**

No son peligros según la legislación americana SARA.

**Massachusetts Right To Know Componentes**

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachusetts.

<b>Piel</b>	Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.
<b>Ojos</b>	Puede provocar una irritación en los ojos.
<b>Ingestión</b>	Puede ser nocivo en caso de ingestión.

---

**3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**

Sinónimos : TMPTMA

Formula : C18H26O6  
Peso molecular : 338.40 g/mol

Componente	Concentración
<b>TRIMETHYLOLPROPANE TRIMETHACRYLATE</b>	
No. CAS	3290-52-4
No. CE	221-950-4
	90 - 100 %

---

**4. PRIMEROS AUXILIOS**

**Recomendaciones generales**  
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

**Si es Inhalado**  
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

**En caso de contacto con la piel**  
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

**En caso de contacto con los ojos**  
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

**Si es tragado**  
Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

---

**5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**

**Condiciones de inflamabilidad**  
No inflamables o combustibles

**Medios de extinción apropiados**  
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

**Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios**  
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

**Productos de combustión peligrosos**  
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono

---

**6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**

**Precauciones personales**  
Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada.

**Precauciones relativas al medio ambiente**  
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

**Métodos y material de contención y de limpieza**  
Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

---

**7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

**Condiciones para el almacenaje seguro**  
Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

El producto es sensible a la luz y a la humedad.

Aldrich - 246840 Página 2 of 7

<b>SIGMA-ALDRICH</b>		<small>sigma-aldrich.com</small>
<b>Hoja Técnica de Seguridad del Material</b>		Versión 4.5 Fecha de revisión 03/25/2013 Fecha de Impresión 09/20/2013

---

**1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA**

Nombre del producto : Trimethylolpropane trimethacrylate

Referencia : 246840  
Marca : Aldrich

Proveedor : Sigma-Aldrich Química, S. de R.L. de C.V.  
Parque Industrial Toluca 2000  
Calle 6 Norte No. 107  
50200 TOLUCA  
MEXICO

Teléfono : +52 (0)1-800-007-5300  
Fax : +52 (0)1-800-712-9920  
Teléfono de Urgencia :  
(Tanto para el proveedor como para el fabricante)

Información suministrada por : Sigma-Aldrich Corporation  
Product Safety - Americas Region  
1-800-521-8956

---

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

**Revisión de la Emergencia**

Peligros OSHA  
Ningunos peligros sabidos del OSHA

Clasificación SGA  
Toxicidad acuática aguda (Categoría 2)  
Toxicidad acuática crónica (Categoría 2)

**Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia**

Pictograma

Palabra de advertencia ninguno(a)

Indicación(es) de peligro  
H411 Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Declaración(es) de prudencia  
P273 Evitar su liberación al medio ambiente.

**HMIS Classification**

Health hazard: 0  
Chronic Health Hazard: -  
Flammability: 0  
Physical hazards: 0

**Clasificación NFPA**

Peligro para la salud: 0  
Fuego: 0  
Peligro de Reactividad: 0

**Efectos potenciales para la Salud**

Inhalación Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.

Aldrich - 246840 Página 1 of 7

explosividad  
 Presión de vapor 0.0003 hPa (0.0002 mmHg) a 20 °C (68 °F) - OECD TG 104  
 Densidad 1.06 g/mL a 25 °C (77 °F) - lit.  
 Solubilidad en agua 0.0201 g/l a 20 °C (68 °F) - OECD TG 105 - Ilgeramente soluble  
 Coeficiente de reparto n-octanol/agua log Pow: 2.749 a 25 °C (77 °F) - OECD TG 117  
 log Pow: 4.193 a 25 °C (77 °F) - OECD TG 117  
 Densidad relativa del vapor sin datos disponibles  
 Color sin datos disponibles  
 Umbral olfativo sin datos disponibles  
 Tasa de evaporación sin datos disponibles

#### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**Estabilidad química**  
 Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.  
**Possibilidad de reacciones peligrosas**  
 sin datos disponibles  
**Condiciones que deben evitarse**  
 sin datos disponibles  
**Materias que deben evitarse**  
 Acidos fuertes y agentes oxidantes  
**Productos de descomposición peligrosos**  
 Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono  
 Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles  
 Contiene el estabilizador(es) siguiente(s):  
 Mequinol (=0.1 %)

#### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

**Toxicidad aguda**  
 Oral DL50  
 DL50 Oral - rata - hembra -> 2,000 mg/kg  
 Inhalación CL50  
 sin datos disponibles  
 Cutáneo DL50  
 DL50 Cutáneo - rata - machos y hembras -> 2,000 mg/kg  
**Otra información sobre toxicidad aguda**  
 sin datos disponibles  
**Corrosión o irritación cutánea**  
 Piel - conejo - No irrita la piel - 4 h - OECD TG 404  
**Lesiones o irritación ocular graves**  
 Ojos - conejo - No irrita los ojos - 24 h - OECD TG 405  
**Sensibilización respiratoria o cutánea**  
 Prueba de Maximización - conejillo de Indias - No provoca sensibilización a la piel. - OECD TG 406  
**Mutagenicidad en células germinales**  
 Genotoxicidad in vitro - Prueba de Ames - S.typhimurium - con o sin activación metabólica - negativo  
 Genotoxicidad in vivo - ratón - machos y hembras - negativo

#### 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componentes	No. CAS	Valor	Parámetros de control	Base
TRIMETHYLOLP ROPANE TRIMETHACRYL ATE	3290-92-4	TWA	1 mg/m3	USA, Workplace Environmental Exposure Levels (WEEL)
Observaciones	Skin			

#### Protección personal

**Protección respiratoria**  
 No se requiere protección respiratoria. Para exposiciones molestas use cartuchos de respirador de tipo OV / AG (EE.UU.) o ABEK (UE EN 14387). Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)  
**Protección de las manos**  
 Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.  
**Protección de los ojos**  
 Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).  
**Protección de la piel y del cuerpo**  
 Indumentaria impermeable. El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.  
**Medidas de higiene**  
 Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávese las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

**Aspecto**  
 Forma claro, líquido viscoso  
 Color amarillo  
**Datos de Seguridad**  
 pH sin datos disponibles  
 Punto de fusión/ punto de congelación Punto/Intervalo de fusión: -41.6 - -29.5 °C (-42.9 - -21.1 °F) - OECD TG 102  
 Punto de ebullición sin datos disponibles  
 Punto de inflamación > 130 °C (> 266 °F)  
 Temperatura de ignición sin datos disponibles  
 Temperatura de auto-inflamación 360 °C (680 °F)  
 Límites inferior de explosividad sin datos disponibles  
 Límites superior de sin datos disponibles

**Peristencia y degradabilidad**

**Biodegradabilidad** aeróbico  
 Resultado: 53 % - No es fácilmente biodegradable.  
 Método: OECD TG 301 B

**Potencial de bioacumulación**

sin datos disponibles

**Movilidad en el suelo**

sin datos disponibles

**Valoración PBT y MPMB**

sin datos disponibles

**Otros efectos adversos**

No se puede excluir un peligro para el medio ambiente en el caso de una manipulación o eliminación no profesional.  
 Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN****Producto**

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE****DOT (US)**

Not dangerous goods

**IMDG**

UN number: 3082 Class: 9 Packing group: III EMS-No: F-A, S-F  
 Proper shipping name: ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S. (TRIMETHYLOLPROPANE TRIMETHACRYLATE)  
 Marine pollutant: Marine pollutant

**IATA**

UN number: 3082 Class: 9 Packing group: III  
 Proper shipping name: Environmentally hazardous substance, liquid, n.o.s. (TRIMETHYLOLPROPANE TRIMETHACRYLATE)

**Otros datos**

Marca-EHS requerida (códigos ADR 2.2.9.1.10 e IMDG 2.10.3) para embalajes únicos y embalajes combinados que contengan embalajes interiores con Mercancías Peligrosas > 5L para líquidos o > 5Kg para sólidos.

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA****Peligros OSHA**

Ningunos peligros sabidos del OSHA

**SARA 302 Componentes**

SARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

**SARA 313 Componentes**

SARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Minimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

**SARA 311/312 Peligros**

No son peligros según la legislación americana SARA

Aldrich - 246840

Página 6 of 7

**Carcinogenicidad**

**IARC:** No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

**ACGIH:** No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by ACGIH.

**NTP:** No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a known or anticipated carcinogen by NTP.

**OSHA:** No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by OSHA.

**Toxicidad para la reproducción**

sin datos disponibles

**Teratogenicidad**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (SGA)**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas (SGA)**

sin datos disponibles

**Peligro de aspiración**

sin datos disponibles

**Efectos potenciales sobre la salud**

<b>Inhalación</b>	Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.
<b>Ingestión</b>	Puede ser nocivo en caso de ingestión.
<b>Piel</b>	Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.
<b>Ojos</b>	Puede provocar una irritación en los ojos.

**Signos y Síntomas de la Exposición**

Los síntomas de exposición pueden incluir sensación de quemazón, tos, atascamiento, laringitis, dificultad para respirar, dolor de cabeza, náuseas y vómito. Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

**Efectos alérgicos**

sin datos disponibles

**Información Adicional**

Toxicidad por dosis repetidas - rata - machos y hembras - Oral - Nivel sin efecto adverso observado - > 900 mg/kg  
 RTECS: TY6675000

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA****Toxicidad**

**Toxicidad para los peces** Ensayo dinámico CL50 - *Oncorhynchus mykiss* (Trucha Irtsada) - 2 mg/l - 96 h  
 Método: OECD TG 203

**Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos** Inmovilización CE50 - *Daphnia magna* (Pulga de mar grande) - > 9.22 mg/l - 48 h  
 Método: OECD TG 202

**Toxicidad para las algas** Inhibición del crecimiento NOEC - *Pseudokirchneriella subcapitata* (alga verde) - 0.177 mg/l - 72 h  
 Método: OECD TG 201

**Toxicidad para las bacterias** Inhibición de la respiración CE50 - Tratamiento de Lodos - > 1,000 mg/l - 3 h  
 Método: OECD TG 209

Aldrich - 246840

Página 5 of 7

Flammability:	0								
Physical hazards:	0								
<b>Clasificación NFPA</b>									
Peligro para la salud:	2								
Fuego:	0								
Peligro de Reactividad:	0								
<b>Efectos potenciales para la Salud</b>									
Inhalación	Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.								
Piel	Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.								
Ojos	Puede provocar una irritación en los ojos.								
Ingestión	Tóxico si se ingiere.								
<b>3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b>									
Sinónimos	: (1R)-(-)-2,3-Bornanedione 2,3-Bornanedione								
Formula	: C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>								
Peso molecular	: 166.22 g/mol								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Concentración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(1R)-(-)-Camphorquinone</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. CAS</td> <td>10334-26-6</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>		Componente	Concentración	(1R)-(-)-Camphorquinone		No. CAS	10334-26-6		-
Componente	Concentración								
(1R)-(-)-Camphorquinone									
No. CAS	10334-26-6								
	-								
<b>4. PRIMEROS AUXILIOS</b>									
<b>Recomendaciones generales</b>									
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio. Retire a la persona de la zona peligrosa.									
<b>Si se Inhalado</b>									
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.									
<b>En caso de contacto con la piel</b>									
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.									
<b>En caso de contacto con los ojos</b>									
Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.									
<b>Si se tragado</b>									
Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.									
<b>5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>									
<b>Medios de extinción apropiados</b>									
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.									
<b>Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios</b>									
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.									
<b>Productos de combustión peligrosos</b>									
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono									
<b>6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL</b>									
<b>Precauciones personales</b>									
Utilícese equipo de protección individual. Evite la formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras. Evitar respirar el polvo.									
<b>Precauciones relativas al medio ambiente</b>									
No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.									
Aldrich - 278288	Página 2 of 6								

<b>SIGMA-ALDRICH</b>	
<small>sigma-aldrich.com</small>	
<b>Hoja Técnica de Seguridad del Material</b>	
<small>Versión 3.2 Fecha de revisión 07/25/2012 Fecha de Impresión 09/20/2013</small>	
<b>1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA</b>	
Nombre del producto	: (1R)-(-)-Camphorquinone
Referencia	: 276286
Marca	: Aldrich
Proveedor	: Sigma-Aldrich Química, S. de R.L. de C.V Parque Industrial Toluca 2000 Calle 6 Norte No. 107 50200 TOLUCA MEXICO
Teléfono	: +52 (0)1-800-007-5300
Fax	: +52 (0)1-800-712-9920
Teléfono de Urgencia (Tanto para el proveedor como para el fabricante)	:
Información suministrada por	: Sigma-Aldrich Corporation Product Safety - Americas Region 1-800-521-8956
<b>2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS</b>	
<b>Revisión de la Emergencia</b>	
<b>Peligros OSHA</b>	
Dañino si se ingiere., Sensibilizante respiratoria	
<b>Clasificación SGA</b>	
Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4)	
Irritación ocular (Categoría 2B)	
Sensibilización respiratoria (Categoría 1)	
<b>Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia</b>	
Pictograma	
Palabra de advertencia	Peligro
Indicación(es) de peligro	H302 H332 H334
	Nocivo en caso de ingestión. Provoca irritación ocular. Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación.
Declaración(es) de prudencia	P261 P305 + P351 + P338
	Evitar respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la niebla/ los vapores/ el aerosol. EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado. En caso de síntomas respiratorios: Llamar a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.
P342 + P311	
<b>HIMIS Classification</b>	
Health hazard:	2
Chronic Health Hazard:	*
Aldrich - 278288	Página 1 of 6

Límites inferior de explosividad	sin datos disponibles
Límites superior de explosividad	sin datos disponibles
Presión de vapor	sin datos disponibles
Densidad	sin datos disponibles
Solubilidad en agua	sin datos disponibles
Coefficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 1.27
Densidad relativa del vapor	sin datos disponibles
Olor	sin datos disponibles
Umbral olfativo	sin datos disponibles
Tasa de evaporación	sin datos disponibles

#### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**Estabilidad química**  
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

**Posibilidad de reacciones peligrosas**  
sin datos disponibles

**Condiciones que deben evitarse**  
sin datos disponibles

**Materias que deben evitarse**  
sin datos disponibles

**Productos de descomposición peligrosos**  
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono  
Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

#### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

**Toxicidad aguda**

**Oral DL50**  
sin datos disponibles

**Inhalación CL50**  
sin datos disponibles

**Cutáneo DL50**  
sin datos disponibles

**Otra información sobre toxicidad aguda**  
sin datos disponibles

**Corrosión o irritación cutáneas**  
sin datos disponibles

**Lesiones o irritación ocular graves**  
sin datos disponibles

**Sensibilización respiratoria o cutánea**  
sin datos disponibles

**Posibilidad de sensibilización por inhalación.**

**Mutagenicidad en células germinales**  
sin datos disponibles

#### Métodos y material de contención y de limpieza

Recoger y preparar la eliminación sin originar polvo. Limpiar y traspasar. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

#### 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

##### Precauciones para una manipulación segura

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evítese la formación de polvo y aerosoles. Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo. Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.

##### Condiciones para el almacenaje seguro

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

#### 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

##### Protección personal

###### Protección respiratoria

Para exposiciones molestas use respirador de partículas tipo P95 (EE.UU.) o tipo P1 (UE EN 143). Para un nivel de protección mayor use cartuchos de respirador tipo OV/AG/P99 (EE.UU.) o ABEK-P2 (UE EN 143). Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

###### Protección de las manos

Manipular con guantes. Los guantes deben ser controlados antes de la utilización. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

###### Protección de los ojos

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

###### Protección de la piel y del cuerpo

Traje de protección completo contra productos químicos. El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

###### Medidas de higiene

Manipular con las precauciones de higiene Industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávese las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

##### Aspecto

Forma cristalino

Color amarillo oscuro

##### Datos de Seguridad

pH sin datos disponibles

Punto de fusión/ punto de congelación Punto/Intervalo de fusión: 200 - 203 °C (392 - 397 °F) - lit.

Punto de ebullición sin datos disponibles

Punto de inflamación sin datos disponibles

Temperatura de ignición sin datos disponibles

Temperatura de auto-inflamación sin datos disponibles

**Producto**

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada. Para la eliminación de este producto, diríjase a un servicio profesional autorizado. Disolver o mezclar el producto con un solvente combustible y quemarlo en un Incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**

**DOT (US)**

Not dangerous goods

**IMDG**

Not dangerous goods

**IATA**

Not dangerous goods

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

**Peligros OSHA**

Dañino si se Ingiere., Sensibilizante respiratoria

**\$ARA 302 Componentes**

\$ARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

**\$ARA 313 Componentes**

\$ARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Minimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

**\$ARA 311/312 Peligros**

Peligro Agudo para la Salud

**Massachusetts Right To Know Componentes**

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachusetts.

**Pennsylvania Right To Know Componentes**

(1R)-(-)-Camphorquinone

No. CAS  
10334-26-6

Fecha de revisión

**New Jersey Right To Know Componentes**

(1R)-(-)-Camphorquinone

No. CAS  
10334-26-6

Fecha de revisión

**Prop. 65 de California Componentes**

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo. Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

**16. OTRA INFORMACIÓN**

**Otros datos**

Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Diríjase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

**Carcinogenicidad**

**IARC:** No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

**ACGIH:** No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by ACGIH.

**NTP:** No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a known or anticipated carcinogen by NTP.

**OSHA:** No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by OSHA.

**Toxicidad para la reproducción**

sin datos disponibles

**Teratogenicidad**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (SGA)**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas (SGA)**

sin datos disponibles

**Peligro de aspiración**

sin datos disponibles

**Efectos potenciales sobre la salud**

**Inhalación**

Puede ser nocivo si se Inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.

**Ingestión**

Tóxico si se Ingiere.

**Piel**

Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.

**Ojos**

Puede provocar una irritación en los ojos.

**Efectos sinérgicos**

sin datos disponibles

**Información Adicional**

RTECS: sin datos disponibles

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

**Toxicidad**

sin datos disponibles

**Persistencia y degradabilidad**

sin datos disponibles

**Potencial de bioacumulación**

sin datos disponibles

**Movilidad en el suelo**

sin datos disponibles

**Valoración PBT y MPMB**

sin datos disponibles

**Otros efectos adversos**

sin datos disponibles

**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN**

<p><b>Si es inhalado</b> Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial.</p> <p><b>En caso de contacto con la piel</b> Eliminar lavando con jabón y mucha agua.</p> <p><b>En caso de contacto con los ojos</b> Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.</p> <p><b>Si es tragado</b> Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua.</p>
<p><b>5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS</b></p> <p><b>Medios de extinción apropiados</b> Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.</p> <p><b>Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios</b> Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.</p> <p><b>Productos de combustión peligrosos</b> Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono</p>
<p><b>6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL</b></p> <p><b>Precauciones personales</b> Evite la formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas.</p> <p><b>Precauciones relativas al medio ambiente</b> No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.</p> <p><b>Métodos y material de contención y de limpieza</b> Limpiar y traspasar. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.</p>
<p><b>7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO</b></p> <p><b>Precauciones para una manipulación segura</b> Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo. Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.</p> <p><b>Condiciones para el almacenaje seguro</b> Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Conservar en un lugar seco.</p>
<p><b>8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL</b></p> <p>No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.</p> <p><b>Protección personal</b></p> <p><b>Protección respiratoria</b> Protección respiratoria no requerida. Donde la protección sea deseada Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)</p> <p><b>Protección de las manos</b> Manipular con guantes. Los guantes deben ser controlados antes de la utilización. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.</p> <p><b>Protección de los ojos</b> Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).</p> <p><b>Protección de la piel y del cuerpo</b> Elegir la protección para el cuerpo según sus características, la concentración y la cantidad de sustancias peligrosas, y el lugar específico de trabajo., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la</p>
<p>Aldrich - 272078 <span style="float: right;">Página 2 of 6</span></p>

<p><b>SIGMA-ALDRICH</b></p>	<p><small>sigma-aldrich.com</small></p> <p><b>Hoja Técnica de Seguridad del Material</b></p> <p><small>Versión 3.2 Fecha de revisión 07/25/2012 Fecha de Impresión 09/20/2013</small></p>
<p><b>1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA</b></p>	
<p>Nombre del producto : (1S)-(+)-Camphorquinone</p> <p>Referencia : 272078</p> <p>Marca : Aldrich</p> <p>Proveedor : Sigma-Aldrich Química, S. de R.L. de C.V Parque Industrial Toluca 2000 Calle 6 Norte No. 107 50200 TOLUCA MEXICO</p> <p>Teléfono : +52 (0)1-800-007-5300</p> <p>Fax : +52 (0)1-800-712-9920</p> <p>Teléfono de Urgencia : (Tanto para el proveedor como para el fabricante)</p> <p>Información suministrada por : Sigma-Aldrich Corporation Product Safety - Americas Region 1-800-521-8956</p>	
<p><b>2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS</b></p>	
<p><b>Revisión de la Emergencia</b></p> <p>Peligros OSHA Ningunos peligros sabidos del OSHA No es una sustancia peligrosa según SGA.</p> <p><b>HIMIS Classification</b></p> <p>Health hazard: 0</p> <p>Flammability: 0</p> <p>Physical hazards: 0</p> <p><b>Clasificación NFPA</b></p> <p>Peligro para la salud: 0</p> <p>Fuego: 0</p> <p>Peligro de Reactividad: 0</p> <p><b>Efectos potenciales para la Salud</b></p> <p>Inhalación : Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.</p> <p>Piel : Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.</p> <p>Ojos : Puede provocar una irritación en los ojos.</p> <p>Ingestión : Puede ser nocivo si es tragado.</p>	
<p><b>3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b></p> <p>Sinónimos : (1S)-(+)-Bomanedone</p> <p>Formula : C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub></p> <p>Peso molecular : 166.22 g/mol</p> <p>Ningún Ingrediente peligroso de acuerdo con el Estándar de Comunicación de Riesgos de OSHA 29CFR 19101200.</p>	
<p><b>4. PRIMEROS AUXILIOS</b></p>	
<p>Aldrich - 272078</p>	<p>Página 1 of 6</p>

## 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### Toxicidad aguda

Oral DL50  
sin datos disponibles

Inhalación CL50  
sin datos disponibles

Cutáneo DL50  
sin datos disponibles

Otra información sobre toxicidad aguda  
sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutánea  
sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular grave  
sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea  
sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales  
sin datos disponibles

### Carcinogenicidad

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

ACGIH: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by ACGIH.

NTP: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a known or anticipated carcinogen by NTP.

OSHA: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by OSHA.

### Toxicidad para la reproducción

sin datos disponibles

Teratogenicidad

sin datos disponibles

### Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (SGA)

sin datos disponibles

### Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas (SGA)

sin datos disponibles

### Peligro de aspiración

sin datos disponibles

### Efectos potenciales sobre la salud

Inhalación	Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.
Ingestión	Puede ser nocivo si es tragado.
Piel	Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.
Ojos	Puede provocar una irritación en los ojos.

### Signos y Síntomas de la Exposición

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Medidas de higiene  
Procedimiento general de higiene Industrial.

## 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### Aspecto

Forma polvo

Color amarillo

### Datos de Seguridad

pH sin datos disponibles

Punto de fusión/  
punto de congelación Punto/Intervalo de fusión: 197 - 201 °C (387 - 394 °F) - lit.

Punto de ebullición sin datos disponibles

Punto de inflamación sin datos disponibles

Temperatura de ignición sin datos disponibles

Temperatura de auto-inflamación sin datos disponibles

Límites inferior de explosividad sin datos disponibles

Límites superior de explosividad sin datos disponibles

Presión de vapor sin datos disponibles

Densidad sin datos disponibles

Solubilidad en agua sin datos disponibles

Coefficiente de reparto n-octanol/agua sin datos disponibles

Densidad relativa del vapor sin datos disponibles

Olor sin datos disponibles

Umbral olfativo sin datos disponibles

Tasa de evaporación sin datos disponibles

## 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

### Estabilidad química

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

### Posibilidad de reacciones peligrosas

sin datos disponibles

### Condiciones que deben evitarse

sin datos disponibles

### Materias que deben evitarse

Agentes oxidantes fuertes

### Productos de descomposición peligrosos

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono  
Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

**New Jersey Right To Know Componentes**

(1S)-1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]heptane-2,3-dione

No. CAS  
2767-84-2

Fecha de revisión

**Prop. 65 de California Componentes**

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo. Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

**16. OTRA INFORMACIÓN**

**Otros datos**

Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Diríjase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

Efectos sinérgicos  
sin datos disponibles

Información Adicional  
RTECS: sin datos disponibles

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

Toxicidad

sin datos disponibles

Perseverancia y degradabilidad  
sin datos disponibles

Potencial de bioacumulación  
sin datos disponibles

Movilidad en el suelo  
sin datos disponibles

Valoración PBT y MMPB  
sin datos disponibles

Otros efectos adversos  
sin datos disponibles

**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN**

Producto

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

Envases contaminados

Eliminar como producto no usado.

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**

DOT (US)

Not dangerous goods

IMDG

Not dangerous goods

IATA

Not dangerous goods

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

Peligros OSHA

Ningunos peligros sabidos del OSHA

SARA 302 Componentes

SARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

SARA 313 Componentes

SARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Mínimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

SARA 311/312 Peligros

No son peligros según la legislación americana SARA

Massachusetts Right To Know Componentes

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachusetts.

Pennsylvania Right To Know Componentes

(1S)-1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]heptane-2,3-dione

No. CAS  
2767-84-2

Fecha de revisión

Flammability:	2								
Physical hazards:	0								
<b>Clasificación NFPA</b>									
Peligro para la salud:	2								
Fuego:	2								
Peligro de Reactividad:	0								
<b>Efectos potenciales para la Salud</b>									
Inhalación	Puede ser nocivo si se inhala. Provoca una irritación del tracto respiratorio.								
Piel	Nocivo si es absorbido por la piel. Provoca irritaciones de la piel.								
Ojos	Provoca una irritación en los ojos.								
Ingestión	Nocivo por ingestión.								
<b>3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b>									
Sinónimos	: Acetyl benzoyl								
Formula	: C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>								
Peso molecular	: 148.16 g/mol								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Concentración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-Phenylpropane-1,2-dione</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. CAS</td> <td>579-07-7</td> </tr> <tr> <td>No. CE</td> <td>209-435-2</td> </tr> </tbody> </table>		Componente	Concentración	1-Phenylpropane-1,2-dione		No. CAS	579-07-7	No. CE	209-435-2
Componente	Concentración								
1-Phenylpropane-1,2-dione									
No. CAS	579-07-7								
No. CE	209-435-2								
<b>4. PRIMEROS AUXILIOS</b>									
<b>Recomendaciones generales</b>									
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio. Retire a la persona de la zona peligrosa.									
<b>Si es Inhalado</b>									
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.									
<b>En caso de contacto con la piel</b>									
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.									
<b>En caso de contacto con los ojos</b>									
Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.									
<b>Si es tragado</b>									
No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona Inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.									
<b>5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>									
<b>Medios de extinción apropiados</b>									
En caso de fuegos incipientes, usar medios como espuma de "alcohol", polvo seco o dióxido de carbono. Para incendios, aplicar desde una larga distancia, abundante agua agua pulverizada o spray. Enterrar todos los contenedores afectados con abundante agua.									
<b>Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios</b>									
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.									
<b>Productos de combustión peligrosos</b>									
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono									
<b>Otros datos</b>									
El agua pulverizada puede ser utilizada para enterrar los contenedores cerrados.									
<b>6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL</b>									
Aldrich - 223034	Página 2 of 7								

<b>SIGMA-ALDRICH</b>	
<small>sigma-aldrich.com</small> <b>Hoja Técnica de Seguridad del Material</b> Versión 5.0 Fecha de revisión 12/03/2012 Fecha de Impresión 09/20/2013	
<b>1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA</b>	
Nombre del producto	: 1-Phenyl-1,2-propanedione
Referencia	: 223034
Marca	: Aldrich
Proveedor	: Sigma-Aldrich Química, S. de R.L. de C.V Parque Industrial Toluca 2000 Calle 6 Norte No. 107 50200 TOLUCA, MEXICO
Teléfono	: +52 (0)1-800-007-5300
Fax	: +52 (0)1-800-712-9920
Teléfono de Urgencia (Tanto para el proveedor como para el fabricante)	:
Información suministrada por	: Sigma-Aldrich Corporation Product Safety - Americas Region 1-800-521-6956
<b>2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS</b>	
<b>Revisión de la Emergencia</b>	
Peligros OSHA	
Combustibles Sólidos, Dañino si se Ingiere., Irritante	
Clasificación SGA	
Líquidos inflamables (Categoría 4)	
Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4)	
Irritación cutáneas (Categoría 2)	
Irritación ocular (Categoría 2A)	
Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3)	
Elementos de las etiquetas del SGA, Incluidos los consejos de prudencia	
Pictograma	
Palabra de advertencia	Atención
Indicación(es) de peligro	
H227	Líquido combustible
H302	Nocivo en caso de ingestión.
H315	Provoca irritación cutánea.
H319	Provoca irritación ocular grave.
H335	Puede irritar las vías respiratorias.
Declaración(es) de prudencia	
P261	Evitar respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la niebla/ los vapores/ el aerosol.
P305 + P351 + P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
HMIS Classification Health hazard:	2
Aldrich - 223034	Página 1 of 7

Punto de fusión/ punto de congelación	sin datos disponibles
Punto de ebullición	103 - 105 °C (217 - 221 °F) a 19 hPa (14 mmHg) - lit.
Punto de inflamación	84 °C (183 °F) - copa cerrada
Temperatura de ignición	sin datos disponibles
Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
Límites inferior de explosividad	sin datos disponibles
Límites superior de explosividad	sin datos disponibles
Presión de vapor	sin datos disponibles
Densidad	1.101 g/cm <sup>3</sup> a 25 °C (77 °F)
Solubilidad en agua	sin datos disponibles
Coefficiente de reparto n- octanol/agua	sin datos disponibles
Densidad relativa del vapor	sin datos disponibles
Olor	sin datos disponibles
Umbral olfativo	sin datos disponibles
Tasa de evaporación	sin datos disponibles

#### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- Estabilidad química**  
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.
- Posibilidad de reacciones peligrosas**  
sin datos disponibles
- Condiciones que deben evitarse**  
Calor, llamas y chispas.
- Materias que deben evitarse**  
Agentes oxidantes fuertes
- Productos de descomposición peligrosos**  
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono  
Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

#### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- Toxicidad aguda**
- Oral DL50  
sin datos disponibles
- Inhalación CL50  
sin datos disponibles
- Cutáneo DL50  
sin datos disponibles
- Otra información sobre toxicidad aguda  
sin datos disponibles

#### Precauciones personales

Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.

#### Precauciones relativas al medio ambiente

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

#### Métodos y material de contención y de limpieza

Contener y recoger el derrame con un aspirador aislado de la electricidad o cepillándolo, y meterlo en un envase para su eliminación de acuerdo con las reglamentaciones locales (ver sección 13). Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

#### 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

##### Precauciones para una manipulación segura

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas electrostáticas.

##### Condiciones para el almacenaje seguro

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

#### 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

##### Protección personal

###### Protección respiratoria

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinación multi-propósito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respaldo para controles de Ingeniería. Si el respirador es la única protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

###### Protección de las manos

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

###### Protección de los ojos

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

###### Protección de la piel y del cuerpo

Traje de protección completo contra productos químicos. El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

###### Medidas de higiene

Manipular con las precauciones de higiene Industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto	
Forma	líquido
Color	amarillo
Datos de Seguridad	
pH	sin datos disponibles

Potencial de bioacumulación  
sin datos disponibles

Movilidad en el suelo  
sin datos disponibles

Valoración PBT y MPMB  
sin datos disponibles

Otros efectos adversos  
sin datos disponibles

#### 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

##### Producto

Este producto combustible puede quemarse en un Incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada. Para la eliminación de este producto, dirigirse a un servicio profesional autorizado.

##### Envases contaminados

Eliminar como producto no usado.

#### 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

##### DOT (US)

NA-Number: 1993 Class: CBL Packing group: III  
Proper shipping name: Combustible liquid, n.o.s. (1-Phenylpropane-1,2-dione)  
Marine Pollutant: No  
Poison Inhalation Hazard: No

##### IMDG

Not dangerous goods

##### IATA

Not dangerous goods

#### 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

##### Peligros OSHA

Combustibles Sólidos, Dañino si se Ingiere., Irritante

##### SARA 302 Componentes

SARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

##### SARA 313 Componentes

SARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Mínimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

##### SARA 311/312 Peligros

Peligro de Incendio, Peligro Agudo para la Salud

##### Massachusetts Right To Know Componentes

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachusetts.

##### Pennsylvania Right To Know Componentes

	No. CAS	Fecha de revisión
1-Phenylpropane-1,2-dione	579-07-7	

##### New Jersey Right To Know Componentes

	No. CAS	Fecha de revisión
1-Phenylpropane-1,2-dione	579-07-7	

##### Prop. 65 de California Componentes

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

##### Corrosión o Irritación cutáneas

sin datos disponibles

##### Lesiones o Irritación ocular graves

sin datos disponibles

##### Sensibilización respiratoria o cutánea

sin datos disponibles

##### Mutagenicidad en células germinales

sin datos disponibles

##### Carcinogenicidad

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

ACGIH: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by ACGIH.

NTP: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a known or anticipated carcinogen by NTP.

OSHA: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by OSHA.

##### Toxicidad para la reproducción

sin datos disponibles

##### Teratogenicidad

sin datos disponibles

##### Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (SGA)

Inhalación - Puede irritar las vías respiratorias.

##### Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas (SGA)

sin datos disponibles

##### Peligro de aspiración

sin datos disponibles

##### Efectos potenciales sobre la salud

Inhalación	Puede ser nocivo si se inhala. Provoca una irritación del tracto respiratorio.
Ingestión	Nocivo por ingestión.
Piel	Nocivo si es absorbido por la piel. Provoca irritaciones de la piel.
Ojos	Provoca una irritación en los ojos.

##### Signos y Síntomas de la Exposición

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

##### Efectos sinérgicos

sin datos disponibles

##### Información Adicional

RTECS: sin datos disponibles

#### 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

##### Toxicidad

sin datos disponibles

##### Persistencia y degradabilidad

sin datos disponibles

**16. OTRA INFORMACIÓN**

**Otros datos**

Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

médico.

**HMIS Classification**  
 Health hazard: 2  
 Chronic Health Hazard: -  
 Flammability: 2  
 Physical hazards: 0

**Clasificación NFPA**  
 Peligro para la salud: 4  
 Fuego: 2  
 Peligro de Reactividad: 0

**Efectos potenciales para la Salud**

**Inhalación** Tóxico si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.  
**Piel** Tóxico si se absorbe por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.  
**Ojos** Puede provocar una irritación en los ojos.  
**Ingestión** Tóxico si se ingiere.

---

**3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**

Formula : C<sub>9</sub>H<sub>13</sub>N  
 Peso molecular : 135.21 g/mol

Componente	Concentración
<b>N,N-Dimethyl-p-toluidine</b>	
No. CAS 99-97-8	-
No. CE 202-805-4	
No. Index 612-056-00-9	

---

**4. PRIMEROS AUXILIOS**

**Recomendaciones generales**  
 Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio. Retire a la persona de la zona peligrosa.

**Si es inhalado**  
 Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

**En caso de contacto con la piel**  
 Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Llevar al afectado en seguida a un hospital. Consultar a un médico.

**En caso de contacto con los ojos**  
 Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

**Si es tragado**  
 No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

---

**5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**

**Condiciones de inflamabilidad**  
 Inflamable en la presencia de una fuente de ignición cuando la temperatura está por encima del punto de inflamación. Manténgase alejado del calor, chispas, llama abierta / superficies calientes. No fumar.

**Medios de extinción apropiados**  
 Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

**Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios**  
 Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

Sigma - D9912

Página 2 of 7

**SIGMA-ALDRICH**

sigma-aldrich.com

**Hoja Técnica de Seguridad del Material**

Versión 5.1  
 Fecha de revisión 01/20/2012  
 Fecha de Impresión 09/20/2013

---

**1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA**

Nombre del producto : N,N-Dimethyl-p-toluidine  
 Referencia : D9912  
 Marca : Sigma

Proveedor : Sigma-Aldrich Química, S. de R.L. de C.V.  
 Parque Industrial Toluca 2000  
 Calle 6 Norte No. 107  
 50200 TOLUCA  
 MEXICO

Teléfono : +52 (0)1-800-007-5300  
 Fax : +52 (0)1-800-712-9920  
 Teléfono de Urgencia :  
 (Tanto para el proveedor como para el fabricante)

Información suministrada por : Sigma-Aldrich Corporation  
 Product Safety - Americas Region  
 1-800-521-8956

---

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

**Revelión de la Emergencia**

**Peligros OSHA**  
 Combustibles Sólidos, Efecto del órgano de blanco, Tóxico por inhalación., Tóxico por ingestión, Tóxico por absorción de la piel

**Organos diana**  
 Sangre

**Clasificación SGA**  
 Líquidos inflamables (Categoría 4)  
 Toxicidad aguda, Oral (Categoría 3)  
 Toxicidad aguda, Inhalación (Categoría 2)  
 Toxicidad aguda, Cutáneo (Categoría 3)  
 Toxicidad acuática aguda (Categoría 3)

**Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia**

**Pictograma** 

**Palabra de advertencia** Peligro

**Indicación(es) de peligro**  
 H227 Líquido combustible  
 H301 + H311 Tóxico en caso de ingestión o en contacto con la piel  
 H330 Mortal en caso de inhalación.  
 H402 Noctivo para los organismos acuáticos.

**Declaración(es) de prudencia**  
 P250 No respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la niebla/ los vapores/ el aerosol.  
 P280 Llevar guantes de protección/ prendas de protección.  
 P284 Llevar equipo de protección respiratoria.  
 P310 Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un

Sigma - D9912

Página 1 of 7

**Protección de la piel y del cuerpo**

Traje de protección completo contra productos químicos. El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

**Medidas de higiene**

Evitar el contacto con la piel, ojos y ropa. Lávense las manos antes de los descansos e inmediatamente después de manipular la sustancia.

**9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS****Aspecto**

Forma claro, líquido

Color amarillo

**Datos de Seguridad**

pH sin datos disponibles

Punto de fusión/  
punto de  
congelación sin datos disponibles

Punto de ebullición 90 - 92 °C (194 - 196 °F) a 13 hPa (10 mmHg)

Punto de inflamación 76 °C (169 °F) - copa cerrada

Temperatura de  
ignición 425 °C (797 °F)

Temperatura de  
auto-inflamación sin datos disponibles

Límites inferior de  
explosividad 1.2 %(V)

Límites superior de  
explosividad 7 %(V)

Presión de vapor 0.100 hPa (0.075 mmHg)

Densidad 0.94 g/cm<sup>3</sup> a 25 °C (77 °F)

Solubilidad en agua insoluble

Coefficiente de  
reparto n-  
octanol/agua sin datos disponibles

Densidad relativa del  
vapor 5.42

Olor sin datos disponibles

Umbral olfativo sin datos disponibles

Tasa de evaporación sin datos disponibles

**10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD****Estabilidad química**

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

**Possibilidad de reacciones peligrosas**  
sin datos disponibles

**Condiciones que deben evitarse**  
Calor, llamas y chispas.

**Materias que deben evitarse**  
Ácidos, Cloruros de ácido, Anhídridos de ácido, Agentes oxidantes fuertes

**Productos de combustión peligrosos**

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx)

**Otros datos**

El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

**6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL****Precauciones personales**

Usar protección respiratoria. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.

**Precauciones relativas al medio ambiente**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

**Métodos y material de contención y de limpieza**

Contener y recoger el derrame con un aspirador aislado de la electricidad o cepillándolo, y meterlo en un envase para su eliminación de acuerdo con las reglamentaciones locales (ver sección 13). Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

**7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO****Precauciones para una manipulación segura**

Evítense el contacto con los ojos y la piel. Evitar la Inhalación de vapor o neblina. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas electrostáticas.

**Condiciones para el almacenaje seguro**

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

Temperatura de almacenaje recomendada: 2 - 8 °C

**8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL**

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componentes	No. CAS	Valor	Parámetros de control	Base
N,N-Dimethyl-p-toluidine	99-97-8	TWA	0.5 ppm	USA, Workplace Environmental Exposure Levels (WEEL)

**Protección personal****Protección respiratoria**

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinación multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respaldo para controles de Ingeniería. Si el respirador es la única protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara. Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

**Protección de las manos**

Manipular con guantes. Los guantes deben ser controlados antes de la utilización. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

**Protección de los ojos**

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

**Peligro de aspiración**  
sin datos disponibles

**Efectos potenciales sobre la salud**

<b>Inhalación</b>	Tóxico si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.
<b>Ingestión</b>	Tóxico si se ingiere.
<b>Piel</b>	Tóxico si se absorbe por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.
<b>Ojos</b>	Puede provocar una irritación en los ojos.

**Signos y Síntomas de la Exposición**

En caso de absorción por el cuerpo, da lugar a la formación de metahemoglobina que, en concentración suficiente, provoca cianosis. El ataque puede tardar de 2 a 4 horas, o más, en manifestarse. Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

**Efectos sinérgicos**  
sin datos disponibles

**Información Adicional**  
RTECS: XUS803000

#### 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

**Toxicidad**

Toxicidad para los peces	CL50 - Pimephales promelas (Piscardo de cabeza gorda) - 46 - 52 mg/l - 96.0 h
--------------------------	---

**Peristencia y degradabilidad**  
sin datos disponibles

**Potencial de bioacumulación**  
sin datos disponibles

**Movilidad en el suelo**  
sin datos disponibles

**Valoración PBT y MPMB**  
sin datos disponibles

**Otros efectos adversos**

No se puede excluir un peligro para el medio ambiente en el caso de una manipulación o eliminación no profesional.  
Noctvo para los organismos acuáticos.

#### 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

**Producto**

Este producto combustible puede quemarse en un Incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada. Para la eliminación de este producto, dirigirse a un servicio profesional autorizado.

**Envases contaminados**  
Eliminar como producto no usado.

#### 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

**DOT (US)**

UN number: 2810 Class: 6.1 Packing group: III  
Proper shipping name: Toxic, liquids, organic, n.o.s. (N,N-Dimethyl-p-toluidine)  
Reportable Quantity (RQ):  
Marine pollutant: No  
Poison Inhalation Hazard: No

**IMDG**

UN number: 2810 Class: 6.1 Packing group: III EMS-No: F-A, S-A  
Proper shipping name: TOXIC LIQUID, ORGANIC, N.O.S. (N,N-Dimethyl-p-toluidine)  
Marine pollutant: No

**Productos de descomposición peligrosos**

Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx)

#### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

**Toxicidad aguda**

**Oral DL50**

**Inhalación CL50**

CL50 Inhalación - rata - 4 h - 1,400 mg/m<sup>3</sup>

Observaciones: Organos de los Sentidos (Olfato, Vista, Oído y Gusto):Olfato: Ulceración del tabique nasal.  
Pulmones, torax o Respiración: Disnea Pulmones, torax o Respiración: Estimulación respiratoria

**Cutáneo DL50**

Otra Información sobre toxicidad aguda

DL50 Intraperitoneal - ratón - 212 mg/kg

**Corrosión o irritación cutáneas**

sin datos disponibles

**Lesiones o irritación ocular graves**

sin datos disponibles

**Sensibilización respiratoria o cutánea**

sin datos disponibles

**Mutagenicidad en células germinales**

Genotoxicidad In vivo - rata - Intraperitoneal

daño en ADN

Genotoxicidad In vivo - ratón - Intraperitoneal

daño en ADN

**Carcinogenicidad**

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

ACGIH: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by ACGIH.

NTP: En este producto no se identifica ningún componente, que presente niveles mayores que o iguales a 0.1%, como agente carcinógeno conocido o anticipado por el (NTP) Programa Nacional de Toxicología.

OSHA: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como cancerígeno o como carcinógeno potencial por la (OSHA) Administración de Salud y Seguridad Ocupacional.

**Toxicidad para la reproducción**

sin datos disponibles

**Teratogenicidad**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (SGA)**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas (SGA)**

sin datos disponibles

IATA  
UN number: 2810 Class: 6.1 Packing group: III  
Proper shipping name: Toxic liquid, organic, n.o.s. (N,N-Dimethyl-p-toluidine)

#### 15. INFORMACION REGLAMENTARIA

**Peligros OSHA**  
Combustibles Sólidos, Efecto del órgano de blanco, Tóxico por Inhalación, Tóxico por Ingestión, Tóxico por absorción de la piel

**SARA 302 Componentes**  
SARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

**SARA 313 Componentes**  
SARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Minimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

**SARA 311/312 Peligros**  
Peligro de Incendio, Peligro Agudo para la Salud, Peligro para la Salud Crónico

**Massachusetts Right To Know Componentes**  
No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachussets.

**Pennsylvania Right To Know Componentes**

	No. CAS	Fecha de revisión
N,N-Dimethyl-p-toluidine	99-97-8	

**New Jersey Right To Know Componentes**

	No. CAS	Fecha de revisión
N,N-Dimethyl-p-toluidine	99-97-8	

**Prop. 65 de California Componentes**

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo. Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

#### 16. OTRA INFORMACION

**Otros datos**

Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Diríjase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

## 9. Presentación en eventos académicos

- Coloquio de Investigación del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Médicas, Odontológicas y de la Salud. México, D.F. Enero 2012.
- Sesión de la División Mexicana de la Asociación Internacional para la Investigación Odontológica, dentro del 24º Congreso Nacional e Internacional de Posgrado e Investigación en Odontología. Cancún, Quintana Roo, México. 03 a 07 de Junio de 2012.
- Coloquio de Investigación del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Médicas, Odontológicas y de la Salud. México, D.F. Agosto 2012.
- Segundo Congreso de Biomateriales Dentales, De la Ciencia a la Clínica. México, D.F. Octubre de 2012.
- Coloquio de Investigación del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Médicas, Odontológicas y de la Salud. México, D.F. Febrero 2013.
- Sesión de la División Mexicana de la Asociación Internacional para la Investigación Odontológica, dentro del 25º Congreso Nacional e Internacional de Posgrado e Investigación en Odontología. Cancún, Quintana Roo, México. 26 a 30 de Mayo de 2013.
- Tercer Congreso de Biomateriales Dentales, De la Ciencia a la Clínica. México, D.F. 17 a 18 de Octubre de 2013.
- XXI Encuentro Nacional y XII Iberoamericano de Investigación en Odontología. México, D.F. 28 a 30 de Noviembre de 2013.