



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

INFLUENCIA DEL SILICATO DE TETRAETILO EN LAS  
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SILICONAS  
DENTALES.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**C I R U J A N A   D E N T I S T A**

P R E S E N T A:

YOSHAMIN ABNOBA MORENO VARGAS

TUTOR: MTRO. JORGE GUERRERO IBARRA

ASESOR: DR. CARLOS ANDRÉS ÁLVAREZ GAYOSSO

MÉXICO, D.F.

2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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

**A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO por brindarme la oportunidad de formarme como profesionista.**

**A mi tutor de Tesis: Mtro. Jorge Guerrero Ibarra por su invaluable colaboración y disposición para la realización del presente trabajo y haber sido una guía importante durante mis primeros años en la carrera.**

**A mi asesor de Tesis: Dr. Carlos Andrés Álvarez Gayosso por toda su paciencia, apoyo y conocimiento transmitido para llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo.**

**A la C.D. Teresa Baeza por su paciencia, apoyo y simpatía, hacia todos los que en algún momento requerimos trabajar en el laboratorio.**

**A los pacientes que asistieron a la Facultad de Odontología, ya que gracias a su colaboración pude llevar a la práctica todos los conocimientos que me fueron impartidos.**

**A mi madre y mi hermana, las dos personas más importantes en mi vida. Ya que por su esfuerzo, sacrificio y amor, a cada momento de mi desarrollo como estudiante y como persona, me encuentro hoy concluyendo esta etapa tan significativa en mi vida.**

**Gracias por todo, las amo.**

**A la MDMMA Alejandra. Por brindarme tu compañía desde hace ya más de 8 años, ya que gracias a tu sinceridad, alegría, consejos e incontables cualidades conocí el significado de la amistad.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.	.....	1
2. ANTECEDENTES.	.....	4
• Polimerización	.....	5
○ Mecanismos de polimerización	.....	5
• Clasificación de los polímeros	.....	7
○ Según su origen	.....	7
○ Composición química	.....	7
○ Por sus aplicaciones	.....	8
• Viscoelasticidad de los polímeros	.....	8
• Elastómeros	.....	9
3. REFERENCIAS HISTÓRICAS.	.....	10
4. MARCO TEORICO.	.....	15
• Siliconas de condensación	.....	15
○ Propiedades	.....	16
○ Ventajas y desventajas	.....	16
• Componentes del catalizador	.....	17
○ Octoato de estaño	.....	17
○ Dibutil dilaurato de estaño	.....	17
○ Silicato de tetraetilo	.....	18
• Impresión dental	.....	19
• Clasificación de materiales elastoméricos	.....	21
• Requerimientos físicos y mecánicos	.....	22

o	Tiempo de mezclado	22
o	Tiempo de trabajo	23
o	Reproducción de detalle	23
o	Máximo % en Compresión o Resistencia	23
o	Deformación en Compresión	24
5.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	25
6.	JUSTIFICACIÓN.	26
7.	OBJETIVO GENERAL.	27
•	Objetivos específicos	27
8.	HIPÓTESIS.	28
9.	METODOLOGÍA.	29
•	Tamaño de muestra	29
•	Criterios de inclusión	29
•	Criterios de exclusión	30
•	Variables de estudio	30
•	Recursos humanos	31
•	Recursos físicos	31
•	Recursos materiales	31
o	Material	31
o	Equipo	31
•	Muestreo	32
•	Método	33
10.	RESULTADOS.	50

11. DISCUSIÓN. ....	68
12. CONCLUSIÓN. ....	76
13. BIBLIOGRAFÍA. ....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de polimerización. ....	4
Figura 2. Esquema de polimerización por condensación. ....	5
Figura 3. Esquema de polimerización por adición. ....	6
Figura 4. Esquema de polimerización por apertura de anillo. ....	6
Figura 5. Agar-Agar. ....	10
Figura 6. Vaciado con yeso dental. ....	19
Figura 7. Modelo de yeso. ....	19
Figura 8. Reactivos para preparar el catalizador. ....	33
Figura 9. Material utilizado para la realización de la silicona experimental. ....	34
Figura 10. Tiempo de mezclado. ....	41
Figura 11. Discos de polimetil metacrilato y molde de acero ....	42
Figura 12. Colocación de los discos para lectura B ....	43
Figura 13. Colocación de los discos para lectura A ....	44
Figura 14. Baño maría ....	45
Figura 15. Separación de la muestra ....	45
Figura 16. Molde de acero inoxidable ....	46
Figura 17. Registro de lectura A y B ....	47
Figura 18. Instrumento de precisión y barga requerida ....	49

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1. Valor promedio de tiempo de mezclado. ....	64
Grafica 2. Valor promedio de tiempo de trabajo. ....	65
Grafica 3. Valor promedio de deformación en compresión. ....	66
Grafica 4. Valor promedio de máx. % en compresión. ....	67

# 1. INTRODUCCIÓN

El autor Nahrup y colab.<sup>(1)</sup> mencionan que los elastómeros de silicón han sido utilizados en la medicina por muchos años y uno de los usos que se le dieron como una capa que recubría a las tabletas farmacéuticas en 1988, con liberación de la droga. En comparación con las capas de las tabletas farmacéuticas comerciales existentes, el elastómero PDMS poseía marcadas ventajas ya que no requería una plastificación adicional. Para la fabricación de este material se realizaba bajo un proceso controlado, reduciendo la variabilidad del producto.

Por otro lado, en el área Odontológica el PDMS se utiliza para la realización de trabajos protésicos con alta precisión, tomando en cuenta que dicha precisión no solo depende del material sino que también depende del proceso de fabricación de las restauraciones, ya que se requiere de un modelo dental con delimitaciones claras para que la preparación dental se observe perfectamente y la restauración cumpla sus objetivos. La falta de precisión o defectos encontrados en las impresiones llegarán a modificar significativamente las dimensiones de los modelos provocando un grado de desajuste en las restauraciones.

A lo largo de la historia se han obtenido materiales de impresión que cumplen las necesidades del cirujano dentista. A medida que se incrementan las necesidades, los materiales de impresión han evolucionado rápidamente pasando de materiales rígidos, como el yeso tipo I, las pastas zinquenólicas, la modelina y las ceras, a materiales elásticos como los hidrocoloides reversibles (Agar) e irreversibles (Alginato) quienes abrieron paso al desarrollo de los elastómeros no acuosos como el hule de polisulfuro, el poliéter, los silicones por condensación o por adición, los cuales han llegado a tener una mayor demanda.

Los silicones son grandes moléculas con interacciones débiles, unidas en ciertos puntos para formar una red tridimensional. Al jalarlo, las cadenas se

estiran, al liberar la fuerza, entran a un estado de relajación y posteriormente a su estado original. Aunque se les clasifica como geles coloidales, en contraste con los hidrocoloides, son hidrófobos. Estos materiales también son clasificados como hules sintéticos, a diferencia del hule natural. Este tipo de materiales son sistemas de dos componentes (base y catalizador), en los que la polimerización o las uniones cruzadas o ambas, se producen por una reacción de condensación o de adición. En un principio los elastómeros de silicón se crearon para fines industriales pero por sus propiedades y tipo de polimerización, se han colocado como uno de los mejores materiales para la toma de impresión en la Odontología.

Para la realización de impresiones dentro de la práctica odontológica, los materiales de impresión elastoméricos no acuosos presentan ventajas notables en comparación con otros materiales como las ceras, modelinas o el alginato. Entre los elastómeros no acuosos más utilizados por su fácil manipulación, buena fidelidad de detalle, tiempo de polimerización corto, entre otras ventajas, está el polidimetilsiloxano. Una de las desventajas que presenta éste es una contracción durante su polimerización debido a la liberación de alcohol como subproducto dándole así el nombre de silicona de reacción por condensación.

Las siliconas de polimerización por condensación comprenden: Un hidroxipolimetil siloxano y un relleno en una presentación pasta-catalizador. El catalizador es una mezcla de varios reactivos: octoato de estaño, dibutil dilaurato de estaño y un silicato alquílico tri o tetra funcional, éste último actúa como agente entrecruzante de las cadenas poliméricas promoviendo la polimerización de la silicona. Esta reacción se lleva a cabo a temperatura ambiente, razón por la cual se encuentra en la literatura como silicona de vulcanización a temperatura ambiente (VTA). Se ha observado que el catalizador de algunas siliconas presenta cristalización durante su almacenamiento después de haber sido abierto. Esto provoca que exista difícil acceso al líquido debido a que los sedimentos de los cristales disminuyen el diámetro del tubo del dispensador impidiendo el libre paso del líquido. Otro problema se da al momento de mezclar la silicona ya que dichos cristales pueden entrar en contacto con el material de impresión provocando así una

alteración en la fidelidad de detalle; de igual manera se altera la proporción base-catalizador recomendada por el fabricante no permitiendo la polimerización adecuada.

Otra de las razones por la cual se pensó en realizar este estudio, es que existe poca información con respecto al comportamiento de cada uno de los componentes del catalizador.

Debido a lo anterior, surge el interés de realizar un estudio para conocer quién produce la cristalización, si es por la reacción de algunos reactivos que se emplean en la fórmula del catalizador o si es debido a un agente externo.

Barceló<sup>(2)</sup> menciona que la norma número 19 para materiales elastoméricos no acuosos para impresión dental de American Dental Association (ADA), aprobada por el Instituto Americano de Estandarización y aprobada el 4 de Octubre de 1976 por el Instituto Nacional Americano de Estandarización ANSI, contempla las propiedades mecánicas de los materiales de impresión no acuosos.

Dichas propiedades resultan ser de gran importancia para el comportamiento idóneo de un material de impresión, entre las más importantes se tienen: el tiempo de mezclado y de trabajo, la consistencia del material después de su mezclado, por lo que estas propiedades se revisarán a lo largo de este trabajo.

## 2. ANTECEDENTES

La palabra polímero se deriva del griego poli (muchos) y meros (partes).<sup>(3)</sup> Se producen por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas (Figura 1). Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones, algunas más asemejan a escaleras y otras son redes tridimensionales.<sup>(4)</sup>

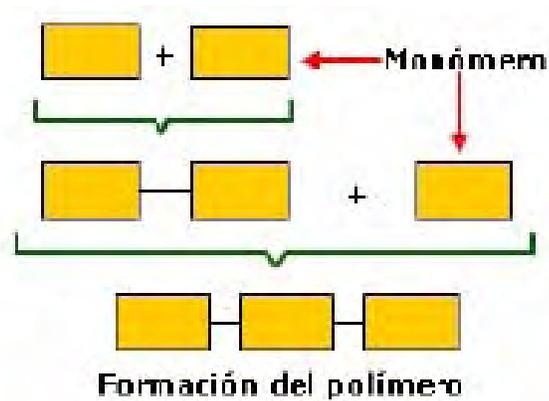


Figura 1. Esquema de polímero.

Es importante señalar que los materiales orgánicos de más antiguo uso son aquellos que se encuentran directamente en la naturaleza.<sup>(5)</sup>

A los materiales artificiales o sintéticos se les denomina de esta manera debido a que se obtienen a partir de moléculas sintetizadas o conformadas por la industria, teniendo las características básicas de los materiales orgánicos. Dichos materiales provienen de moléculas de bajo peso.

## Polimerización

La Polimerización <sup>(6)</sup> es un proceso químico por el que los **reactivos**, **monómeros** (compuestos de bajo peso molecular), se agrupan químicamente entre sí dando lugar a una molécula de gran peso molecular, llamada **polímero**.

### Mecanismo de polimerización

La reacción de transformación de monómero en polímero puede hacerse de varias maneras.

- Polimerización por condensación: Se produce haciendo reaccionar moléculas, generalmente distintas, para lograr su unión (Figura 2). Como resultado de esta reacción se logra no solo la unión sino también la formación de subproductos de bajo peso molecular (agua, alcohol, etc.).  
(4)

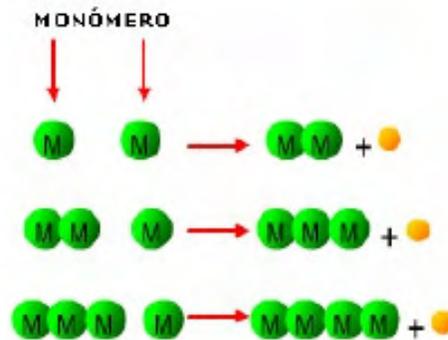


Figura 2. Esquema de polimerización por condensación.

- Polimerización por adición: Se da en sustancias con moléculas no saturadas (dobles ligaduras entre átomos de carbono). La doble ligadura representa un estado de excesiva energía y la materia tiende a ordenarse (Figura 3).

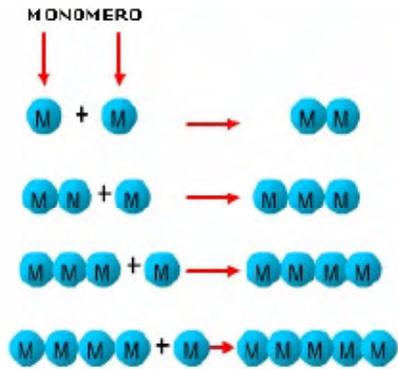


Figura 3. Esquema de polimerización por adición.

- Polimerización por apertura de anillos. La formación del polímero se hace en este caso a partir de una molécula con dos radicales epóxicos que reaccionan con una diamina. Esta reacción que se lleva a cabo es similar a la polimerización de condensación pero sin liberación de subproductos (Figura 4).<sup>(5)</sup>

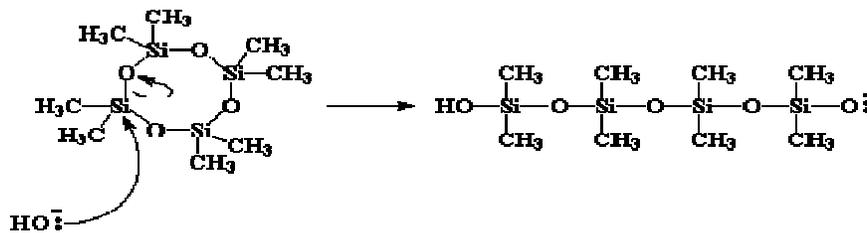


Figura 4. Polimerización por apertura de anillo.

Macchi<sup>(5)</sup> refiere que cuando un material se polimeriza, se contrae y tanto más cuanto mayor sea el número de moléculas por unidad de volumen que se unen para formar el polímero. Esta contracción es tanto mayor cuanto menor es el peso molecular de la molécula original ya que para un mismo volumen será necesario unir una cantidad mayor de ellas. A la inversa, si parte de moléculas de mayor peso molecular la contracción que se produce al polimerizar será menor.

## Clasificación de los polímeros

Debido a la gran diversidad, los polímeros se encuentran ampliamente clasificados, de la siguiente manera: según su origen, su mecanismo de polimerización, su composición química, sus aplicaciones y su composición al aumento de la temperatura, orden estereoquímico, entre otras.

### Según su origen

- **Polímeros naturales.** Existen en la naturaleza muchos polímeros y las **biomoléculas** que forman a los **seres vivos** son **macromoléculas** de polímeros. <sup>(7)</sup>
- **Polímeros semisintéticos.** Se obtienen por transformación de polímeros naturales.
- **Polímeros sintéticos.** Muchos polímeros se obtienen industrialmente a partir de monómeros. <sup>(7)</sup>

### Composición química

- **Polímeros orgánicos.** Posee en la cadena principal átomos de carbono.
- **Polímeros inorgánicos.** Entre otros tenemos a los polímeros que están basados en azufre o silicio.

### Por sus aplicaciones

Atendiendo a sus propiedades y usos finales, los polímeros pueden clasificarse en<sup>(7)</sup>: elastómeros, plásticos, fibras, recubrimientos, adhesivos.

## **Viscoelasticidad de los polímeros**

Este punto se encuentra relacionado con los aspectos ligados al estado sólido y al estado líquido (fundido) de los materiales poliméricos. Un sólido por excelencia tiene, frente a un esfuerzo un comportamiento que se puede llamar elástico. El material se deforma bajo la acción de una fuerza, poco o mucho según sea el valor de ésta, pero cuando el esfuerzo cesa el material vuelve a su estado natural. Una explicación sencilla a nivel moleculares que la acción del esfuerzo se desplaza levemente de esas posiciones pero, en cuanto cesa el esfuerzo, las fuerzas que mantienen unidos a los átomos les hacen recuperar rápidamente su posición de equilibrio, devolviendo así, con esa recuperación elástica, la energía que el esfuerzo les había transmitido (resiliencia).

Existen polímeros, como los cauchos suavemente reticulados, que se comportan como sólidos elásticos con gran capacidad de deformación y casi total recuperación al cesar el esfuerzo, esta diferencia de los plásticos que se deforman por la acción de un esfuerzo pero, al cesar este, rara vez recuperan su forma original. Ello es debido, durante el esfuerzo, a las cadenas que constituyen el polímero se desplazan unas sobre otras, en un fenómeno claramente viscoso en el que se consume parte de la energía aportada por el esfuerzo, lo que impide la recuperación total de la forma del sólido por vías elásticas. <sup>(8)</sup>

## **Elastómeros**

Es importante describir a un elastómero como un polímero orgánico formado por largas moléculas que poseen la cualidad de estirarse, enrollarse o comprimirse al aplicar una fuerza y posteriormente recuperar paulatinamente su forma primitiva total o parcialmente al cesar la fuerza aplicada. Son insolubles y no se pueden fundir, es decir, se descomponen químicamente cuando se calientan más allá de su temperatura máxima de

servicio, 300°C.<sup>(9)</sup>El comportamiento de estos materiales se debe a que las moléculas de los elastómeros, en contraste con los termoplásticos, están entrecruzadas con enlaces químicos.

Durante la vulcanización o la reticulación (reacción de la química de los polímeros), las cadenas moleculares del polímero se unen mediante enlaces químicos. Tanto la reticulación como la vulcanización o curado, implica la formación de una red tridimensional formada por la unión de las diferentes cadenas poliméricas. Existen diferentes tipos de reticulación que se pueden lograr con un solo polímero o dos o más polímeros que reaccionan para formar una unidad. Una vez concluida la reticulación, las moléculas adquieren mayor rigidez ya que los movimientos de relajación se encuentran impedidos. En el caso de los elastómeros esto ayuda a que las propiedades de resiliencia se incrementen.

### 3. REFERENCIAS HISTÓRICAS

Históricamente, los materiales de impresión utilizados en odontología eran rígidos tanto para los tejidos duros como para los blandos, primeros materiales utilizados fueron las ceras, el yeso y las pastas de óxido de zinc y eugenol. Anusavice<sup>(10)</sup> menciona que a fines siglo pasado, se descubrió la algina, sustancia mucosa producida por algas marinas



los  
del

pardas, y 40 años más tarde en Inglaterra (1925)

Figura 5. Agar-agar

el químico S. William patentó la algina con el nombre de agar, un hidrocólido reversible como material para la toma de impresiones dentales, durante la segunda guerra mundial escaseó la materia prima, obligando esto a la realización de investigaciones aceleradas para la mejora del compuesto de algina creando así un hidrocólido irreversible llamado alginato, superando al agar (Figura 5) en cuanto a su obtención, su manipulación y su precio.

Veinticinco años más tarde se introdujeron al mercado los hules de polisulfuro, dichos materiales presentaron grandes desventajas, como: olor desagradable, manchado de la ropa debido al dióxido de plomo que es uno de sus principales componentes, además de ser difícil de mezclar debido a su viscosidad, y con un tiempo de polimerización prolongado. Por lo que en 1955 aparecen las siliconas de condensación, las cuales en primera intención no eran para uso en boca, las cuales comparadas con los materiales anteriores resultaron ser una novedad en cuanto a su fácil manipulación, olor agradable y tiempo de fraguado más corto, aunque una de las desventajas que presentó fue la liberación de subproductos (alcohol) provocando la contracción del material, dando motivos para seguir con el desarrollo de otros materiales.<sup>(11)</sup> A finales de la década de los 60's en Alemania fue presentado un material de impresión elastomérico de poliéter, material de impresión hidrofílico de polimerización por

adición, que posee cualidades mecánicas superiores a los hidrocoloides y siliconas por condensación. <sup>(10)</sup>

García<sup>(11)</sup> menciona que diez años después fueron desarrollados los materiales de impresión de polivinilsiloxano, también denominados siliconas de reacción por adición, los cuales poseen la mejor recuperación elástica de todos los materiales de impresión.

En el trabajo realizado por Finger, W. J. <sup>(12)</sup> se evaluó la importancia sobre las propiedades de los materiales de impresión de silicón el cual tuvo como objetivo investigar los efectos del relleno sobre las propiedades básicas de los silicones modernos y particularmente sobre la exactitud de las impresiones dentales. Se utilizaron 7 juegos de especímenes (pasta y base siguiendo las cantidades recomendadas por el fabricante) a los que se añadió 0, 8.0, 16.0, 30.4, 42.5, 52.9 % de relleno respectivamente.

Los especímenes se prepararon de acuerdo a la Norma número 19 de ADA. La expansión térmica y el coeficiente de contracción de los materiales fueron medidos por un Mikrokator bajo una carga de 1 g. Obteniendo como resultado que el coeficiente de expansión térmico y la contracción lineal disminuyeron con el contenido de relleno aumentado, en otras palabras, si se aumenta el contenido de relleno disminuye el curado pero aumenta la rigidez.

En el estudio <sup>(13)</sup> para la Comparación de la superficie de reproducción de detalle de los sistemas de troquel de material flexible se propuso comparar la superficie de la reproducción de detalle de troqueles de material flexible cuando son usados en combinación con materiales de impresión elastoméricos. Se describe que cuatro de estos sistemas requirieron de un medio separador para prevenir la adherencia del material del troquel con el de la impresión. Los resultados de este estudio indicaron que la combinación con los materiales de impresión no son compatibles, por lo tanto no deben ser usados con los dados de material flexible. De la misma manera, menciona que el uso de separador es necesario cuando el sistema se llega a usar con materiales de Poli vinil

siloxano. Sin embargo la superficie de reproducción de detalle se ve afectada con el uso de separador.

En un estudio <sup>(14)</sup> realizado por Klooster, Logan y Tjan se observó el rango de deformación bajo un esfuerzo tensional una elongación realizada hasta la fractura del material y el recobre elástico de un cierto número de muestras realizadas con materiales de impresión dental común. Cada espécimen se preparó por medio de una técnica de mezclado convencional y colocado para su polimerización en un molde de ASTM estándar. Posteriormente se montaron en una unidad INSTRON. Se aplicó la carga tensional y se trazó la curva de desplazamiento, el espécimen fue estirado axialmente hasta la ruptura.

En los resultados el material que demostró un menor cambio dimensional después de 24 hr fue el poliéter, comparado con el polisulfuro. Por otra parte el silicón de condensación y de adición demostraron tener un recobre elástico casi total, dando como posible explicación a que el material continúa polimerizando después de 24 hr o debido a la pérdida de subproductos.

En el estudio realizado por Gomes y colab.<sup>(15)</sup> se hace una marcada atención en las propiedades térmicas y de absorción de los materiales a base de polidimetilsiloxano (PDMS) que se entrecruzan en diferentes condiciones. Se menciona que los autores han preparado materiales híbridos de los precursores de PDMS, alcoxi silicio y zirconio a través de radiación gamma. Aseguran que el reticulador de las cadenas poliméricas puede ser promovido para diferentes caminos, uno sería la radiación por rayos Gamma. Para la realización de las muestras menciona que el método que se utilizó para la preparación del material fue una mezcla de PDMS y alcoxi silicio, sin adicionar ningún otro componente. Los precursores que se utilizaron fueron PDMS, terminación silanol, y ortosilicato de tetraetilo (TEOS). Mencionan que para la obtención de las propiedades térmicas del material preparado con radiación Gamma se analizó por medio de una técnica termogravimétrica (TGA) y un escaneo calorimétrico diferencial (DSC). Las mediciones se realizaron en una atmósfera libre de nitrógeno con un rango de temperatura de 25° C a 700°C a

una razón de 10°C/min. Para las pruebas de absorción se utilizó tolueno al 99%, en el que fueron sumergidas las muestras durante 24 h a una temperatura de 24°C. Las muestras se valoraron antes y después de la absorción. De esta manera demostraron que el TEOS facilita el ordenamiento espacial de las cadenas poliméricas ya que promueve un nuevo camino párale control de la reticulación del PDMS, en muestras radiadas con rayos Gamma.

Aseguran que como una ventaja después de la radiación es casi todo el TEOS se evapora dejando las redes entrecruzadas de PDMS como único componente de la preparación del material. Por otro lado el comportamiento del polímero hinchado en un buen disolvente es indicativo de la densidad de entrecruzamiento de las redes de polímeros, ya que la hinchazón incrementa con la disminución del reticulado. En este estudio aseguran que la hinchazón del polímero disminuía al incrementar el TEOS. Por lo tanto, esto significa que el TEOS contribuye al entrecruzamiento de las cadenas poliméricas. Dando como conclusión que la mayoría de TEOS se evapora después de la radiación, sin embargo su presencia tiene mayor impacto en las propiedades térmicas, así como, en las propiedades absorbentes. Por último, y con mayor importancia, se demostró que el polímero depende de la cantidad de TEOS que se le agregue.

Chakrabarti, Kim, Oh y Whang realizaron un estudio<sup>(16)</sup> en que incorporaron polidimetilsiloxano (PDMS) dentro de xerogeles de SiO<sub>2</sub> derivado en sol-gel, donde TEOS fue el material inorgánico. Dicha incorporación se controló por medio de parámetros numéricos tomando en cuenta los tipos de catalizador, cantidad y peso molecular de componentes orgánicos adicionados, la cantidad de solvente y agua, pH de la solución, temperatura y tiempo. El objetivo fue estudiar la condensación entre PDMS y TEOS y obtener una idea de sus parámetros de control experimental usando un análisis térmico diferencial (DTA) y un análisis gravimétrico térmico (TGA). Por medio de termogramas del TGA se observó un 28% de pérdida de peso para las muestras de ácido-catalizador y 17% para las muestras de base-catalizador. Mencionan que la región mas baja de pH cambio a una curva mas amplia con un pH mas amplio, al que anteriormente se había notado en un sistema orgánico-inorgánico, y se pensó que los picos exotérmicos surgían debido a la reestructuración molecular

durante la canalización y oxidación de los grupos orgánicos residuales. También encontraron que la influencia de la base-catalizador tiene una mayor influencia en la condensación.

Por otro lado, observaron que el contenido de agua es considerado para aumentar la velocidad de condensación pero con una hidrólisis mas lenta lo cual favorece al crecimiento de la estructura e inhibe el crecimiento de las partículas primarias compactas de TEOS. Sin embargo, con un alto contenido de agua la hidrólisis del TEOS es relativamente rápida y la mayoría de los monómeros del TEOS parecen estar hidrolizados. Por lo tanto se hace notar que el agua tiene una seria influencia en la reacción subsecuente a la condensación. Concluyendo que la condensación entre PDMS y TEOS durante la preparación de los xerogeles es ampliamente afectada por la cantidad de agua y el pH de la solución.

## 4. MARCO TEORICO

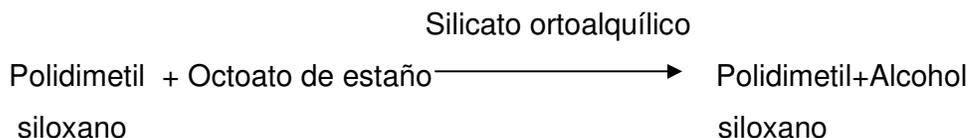
### Siliconas de condensación

El polímero se compone de un poli (dimetil-siloxano) hidroxiterminado. Este dimetil siloxano es la base de las siliconas con bajo peso molecular. Otros componentes fundamentales de la silicona de condensación son:

- Relleno: Principalmente es para darle cuerpo a la silicona. Según Cova J. L.<sup>(17)</sup> puede contener carbonato o sílice de 2 a 8 micras en una proporción de 35 a 75% dependiendo de la consistencia del producto. Anusavise<sup>(18)</sup> asegura que el tamaño de las partículas debe medir de 5 a 10 nanómetros.
- Octoato de estaño: Es un catalizador orgánico, su presentación es en pasta o líquido.
- Dibutil dilaurato de estaño: Actúa como un agente acelerador de la reacción.
- Silicato ortoalquílico: Agente entrecruzante capaz de unir las cadenas.<sup>(17)</sup>

La unión cruzada se realiza mediante la reacción de los silicatos alquílicos (trifuncionales y tetrafuncionales), como el ortosilicato tetraetilico en presencia del octoato de estaño. Un producto colateral de la reacción es el alcohol que al evaporarse es la causa de la contracción que se produce en el fraguado. La humedad y la temperatura ejercen un efecto significativo en el curso de la reacción.<sup>(17)</sup>

La reacción química de las siliconas por condensación es la siguiente:



Esta reacción se efectúa a temperatura ambiente y por eso se denomina VTA. Estos elastómeros se curan por una reacción de polimerización y cadenas cruzadas durante este proceso, lo cual es esencial para producir sus propiedades elásticas.

## Propiedades:

- Tiempo de trabajo: De 3 a 4 minutos
- Tiempo de polimerización: De 6 a 8 minutos, o bien de acuerdo con ADA, el tiempo que señale el fabricante.
- Estabilidad dimensional: Existe una contracción debido a la volatilización del alcohol, que es un producto residual. La mayor contracción existe dentro de las primeras 24 horas. Guzmán<sup>(19)</sup> recomienda el vaciado de la impresión en un tiempo no mayor a 30 minutos.
- Recuperación elástica: Es aproximadamente el 100% después de 20 minutos.<sup>(17)</sup>

## Ventajas y Desventajas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fácil manipulación	Sensibles a temperatura altas
Sabor y olor agradables	Tiempo de trabajo corto
No tóxico	Para impresiones múltiples
Buena reproducción de detalle	Alta contracción en el
Propiedades elásticas excelentes	Almacenamiento
Puede encontrarse en diferentes	Las variaciones del catalizador
Viscosidades	son críticas en el tiempo de
Hidrófobo por lo consiguiente puede	Polimerización
desinfectarse sin absorber agua	Vida útil corta

## Componentes del catalizador

### Octoato de estaño <sup>(20)</sup>

CAS 301-10-0

Fórmula Química C<sub>16</sub>H<sub>32</sub>O<sub>4</sub>Sn

El octoato de estaño <sup>(20)</sup> es un líquido amarillo e insoluble en agua fría, que actúa como catalizador para la silicona RTV.

El material debe mantenerse alejado del fuego o altas temperaturas. Debe mantenerse en un contenedor seco y en un lugar frío y bien ventilado, alejado de agentes oxidantes. Para manipularlo se debe utilizar lentes protectores, bata de laboratorio, cubre boca y guantes.

En caso de contacto con la piel lavar inmediatamente con abundante agua dejándola correr, no usar jabones erosivos. Cubrir la zona irritada con un emoliente. Si la irritación persiste acudir al médico. Si hay ingestión no provocar el vómito y proporcionar atención médica de inmediato.

### **Dibutil dilaurato de estaño** <sup>(20)</sup>

CAS 77-58-7

Fórmula Química  $(C_4H_9)_2Sn(OOC(CH_2)_{10}CH_3)_2/C_{32}H_{64}O_4Sn$

El dibutil dilaurato <sup>(20)</sup> de estaño es un líquido, aceitoso o cristales cerosos. Esta sustancia se descompone al calentarla o al arder, produciendo humos tóxicos e irritantes. Su punto de ebullición es de 205° C y su punto de fusión de 22 a 24°C.

La densidad relativa del líquido es de (agua=1) 1.1. No es soluble en agua. Actúa dentro del catalizador como un acelerador.

Se recomienda que durante su manipulación se utilicen guantes protectores, lentes de protección. No se debe comer ni beber ni fumar durante su manipulación. En caso de ingestión enjuagar la boca y provocar el vómito.

Esta sustancia puede absorberse por ingestión. Su evaporación no se alcanza dar a 20° C y si llegará, a suceder la concentración nociva en el aire sería muy baja. La sustancia puede afectar al hígado, riñón, tracto gastrointestinal en exposiciones prolongadas o repetitivas.

## **Silicato de tetraetilo**<sup>(20)</sup>

CAS 78-10-4

Fórmula Química (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O)<sub>4</sub>Si

El silicato de tetraetilo es un líquido incoloro de olor característico, se utiliza en el catalizador como un agente entrecruzante para realizar la polimerización del silicón RTV.

Según datos proporcionados por las Fichas Internacionales de Seguridad Química<sup>(20)</sup>, dicha sustancia es peligrosa si reacciona con agua, ácidos u oxidantes. Puede absorberse por inhalación del vapor y por ingestión. La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio, así como también provoca disminución del estado de alerta. En exposiciones mayores o bien repetitivas, el líquido tiende a desengrasar la piel o bien tener efecto en riñones.

El almacenamiento para este tipo de sustancias debe llevarse a cabo de manera específica, esto es a prueba de incendios, también debe permanecer separado de ácidos y oxidantes, debe mantenerse en lugar fresco, seco y bien ventilado.

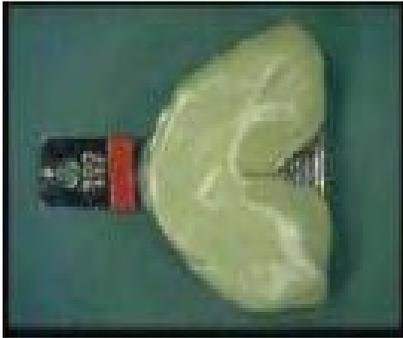
## **Impresión dental**

Se entiende por impresión dental a la huella fiel y/o negativo de estructuras dentarias de un paciente realizada en una clínica dental que se consigue a través de ciertos materiales no tóxicos denominados materiales para la toma de impresión. El hidrocoloide irreversible, la silicona de condensación y de adición, el hule de polisulfuro y el poliéter son ejemplos.<sup>(10)</sup>

Los materiales para impresión llegan siempre a boca en estado plástico, lo cual permitirá una correcta reproducción, así como una copia fiel de los detalles requeridos; una vez transcurrido el tiempo necesario para la polimerización del

material, que es relativamente corto.<sup>(5)</sup> Estos materiales se preparan mezclando 2 componentes, de tal forma que se obtenga una pasta homogénea. Existe un periodo de tiempo para su utilización. Una vez que fragua, gelifica o polimeriza completamente y se retira de la boca del paciente, podemos decir que se ha obtenido la impresión dental.

A partir de estas impresiones y mediante el proceso de vaciado con yeso dental (Figura 6) o positivado de las mismas, se obtienen los modelos de yeso dental (Figura 7) con los que el técnico dental puede trabajar. Las impresiones tienen un periodo de uso, debiéndose vaciar en yeso dental lo antes posible.<sup>(19)</sup>



Figuras 6. Vaciado con yeso dental



Figura 7. Modelo de yeso

El mecanismo de fraguado de los materiales de impresión puede darse por reacciones reversibles e irreversibles. El término irreversible implica que se han producido reacciones químicas y que el material no puede volver a su estado inicial. Por otra parte, los materiales reversibles se ablandan con el calor y se solidifican cuando son enfriados, sin que se produzca ningún cambio químico.

Los materiales de impresión pueden ser utilizados para reproducir la forma exacta de los rebordes edéntulos (tejidos blandos) y la forma de los dientes (tejidos duros). Los elastómeros se utilizan ampliamente en la preparación de modelos para prótesis fija y removible así como para restauraciones unitarias, tales como coronas, onlays e inlays. Para cumplir los requisitos que exigen cada uno de estos procedimientos se necesita tomar en cuenta las siguientes características.

1. Reproducción de detalles: Grado de registro del material.

2. Estabilidad dimensional: Mantener su forma y tamaño en un tiempo prolongado.
3. Fluidez: Resistencia a la distorsión bajo esfuerzo de compresión mínimo.
4. Elasticidad: Para permitir el retiro del material de socavados sin ninguna deformación permanente.
5. Tiempo de mezclado: Es el tiempo necesario para hacer una mezcla uniforme de colores y textura de todos los componentes.
6. Tiempo de trabajo: Tiempo transcurrido desde el comienzo de la mezcla, es el tiempo presumible necesario para mezclar el material. <sup>(21)</sup>
7. Tiempo de fraguado: es el lapso trascurrido desde el comienzo de la mezcla hasta que el curado ha avanzado lo suficiente para retirar la impresión de la boca sin deformaciones.

## **Clasificación de materiales elastoméricos**

La Asociación Dental Americana (ADA) clasifica a los Materiales Elastoméricos No acuosos para Impresión Dental como tipo I, II o III de acuerdo a la certeza de sus propiedades elásticas y cambios dimensionales después del curado. <sup>(21)</sup>

Estas propiedades reflejan la recuperación elástica del material después de:

- Una deformación compresiva.
- La resistencia a la distorsión bajo un pequeño esfuerzo compresivo (fluidez).
- El cambio dimensional lineal total de un espécimen después de un mínimo de 24 h en condiciones sin esfuerzo.

Los valores para estas propiedades se mencionan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Propiedades en función del tipo de silicón.**

<b>Tipo</b>	<b>Máximo % de Compresión</b>	<b>Máximo % de Fluidez</b>	<b>Máximo cambio (-) en Dimensión después de 24 h</b>

I	2.5	0.5	0.50
II	2.5	0.5	1.00
III	2.5	2.0	0.50

La especificación No. 19 de ADA toma en cuenta los materiales no acuosos capaces de reaccionar, para formar un material como el hule el cual puede ser usado para la toma de impresiones, reconociendo tres clases: polisulfuros, polisiloxanos y poliéteres. <sup>(21)</sup>

En el texto de Anusavice,<sup>(18)</sup> afirma que químicamente hay cuatro tipos de elastómeros de acuerdo al uso que se le da a cada uno como materiales para impresión dental: polisulfuro, silicón de polimerización por condensación, silicón de polimerización por adición y poliéter.

### Requerimientos de propiedades físicas y mecánicas

En cuanto a la descripción de la viscosidad cada tipo de material es clasificado de acuerdo a su propósito destinado. Los valores mínimos aplicables se encuentran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Propiedades en función de la viscosidad del silicón.

Viscosidad	Máximo tiempo de mezclado (mín)	Máximo tiempo de trabajo (mín)	Diámetro del disco de consistencia (mm)	Resistencia %	Espesor de Línea (mm)	
					Reproducción de detalle	Compatibilidad con el yeso
Muy pesada	1.0	2.0	13-20	1.5-08.0	0.075	0.075
Pesada	1.0	2.0	20-32	2.0-20.0	0.020	0.020
Mediana	1.0	2.0	30-40	2.0-20.0	0.020	0.020
Ligera	1.0	2.0	36-55	2.0-20.0	0.020	0.020

#### 4.1.-Tiempo de Mezclado

Es el tiempo necesario para hacer una mezcla uniforme de colores y textura de todos los componentes, esencialmente libre de estrías, no deberá exceder de 1.0 minuto y deberá estar dentro del tiempo de mezclado declarado por el fabricante.

#### **4.2.-Tiempo de Trabajo**

La medida del tiempo de trabajo empieza cuando se inicia la mezcla y hasta que haya un incremento de viscosidad aparente a cierto nivel, deberá ser mayor o igual al valor mínimo establecido en la Tabla 2.

#### **4.3.-Reproducción de detalle**

Las respectivas líneas serán consideradas satisfactorias si están reproducidas en forma continúa a lo largo de la distancia total entre las líneas cruzadas. El material probado deberá cumplir con los requerimientos de reproducción de detalle encontrados en la Tabla 2.

#### **4.4.-Máximo Porcentaje de Compresión o Resistencia**

El máximo porcentaje de compresión es la mayor cantidad de fuerza que puede aplicarse al material produciendo una reducción de volumen, antes de deformarlo plásticamente. A este punto también se le puede llamar punto de fluencia o límite elástico.

Aparentemente la tensión o fuerza que actúa es solo una, pero se debe de tomar en cuenta la presencia de la acción de la superficie que lo sostiene.

El máximo porcentaje de compresión representará medir cuál es la fuerza necesaria para romper un cuerpo constituido por silicona por condensación. Para ello se confecciona un cuerpo denominado probeta y se somete a fuerzas

progresivamente en aumento hasta su ruptura. Esta se pide con la siguiente ecuación:

$$(A-B/20) \times 100 = \% \text{ de compresión}$$

#### **4.5.- Deformación en compresión**

Se da cuando un sólido es sometido a un esfuerzo de compresión, se comprimirá hasta una situación en que las fuerzas internas entre las partículas anulen la acción exterior, y posteriormente al eliminar el esfuerzo al que esta sometido tenderá a volver a su forma original.<sup>(22)</sup> Para cada sólido existe un valor máximo de la fuerza aplicada por debajo del cual tiene un comportamiento elástico que al retirar la fuerza aplicada al sólido regresa a su forma original, pero si se sobrepasa dicho valor se producen deformaciones en el sólido que ya no son recuperables, se dice entonces que tiene un comportamiento inelástico.

La ley que regula el comportamiento elástico es la Ley de Hooke, que enuncia lo siguiente:

- “Las deformaciones producidas en los cuerpos son directamente proporcionales a las fuerzas que actúan”.
- “La fuerza elástica está dirigida en sentido opuesto a la deformación sufrida, y es proporcional a la magnitud de dicha deformación”.

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se observa que en algunos de los elastómeros para impresión dental a base de silicón de tipo condensación, el catalizador se cristaliza. No se sabe si es producto de la evaporación de alguno de los componentes del catalizador o si se origina por que existe una reacción química bajo ciertas condiciones. Esto da origen a la disminución del diámetro del tubo dispensador debido a la sedimentación de los cristales. Otra es la variación de las propiedades del material de impresión debido a la alteración de la cantidad de catalizador recomendada por el fabricante.

Como se aprecia, la cristalización del catalizador conlleva a 2 problemas donde el último es grave. Es por esto que es necesario conocer cual de los ingredientes del catalizador produce la cristalización y de esta manera poder presentar alternativas para sustituirlo, o bien, modificar su composición.

- I. ¿Se puede evitar la cristalización de los líquidos del catalizador?
- II. ¿Se puede formular un catalizador que no cristalice sin afectar las propiedades de la silicona?

## 6. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a lo anterior, se pretende preparar un catalizador para evitar la presencia de cristales. Esto permitirá mantener las propiedades del silicón y que exista una disminución importante en el gasto innecesario del líquido catalizador por la pérdida de concentración, dando como resultado una disminución en el gasto periódico realizado por el cirujano dentista en la compra de material para impresión.

## **7. OBJETIVO GENERAL**

Valorar la influencia del silicato de tetraetilo en las propiedades físicas y mecánicas de un material de impresión.

## **Objetivos específicos**

- Valorar la influencia del ortosilicato de tetraetilo en la cristalización del catalizador de silicón.
- Determinar el tiempo de mezclado de la silicona experimental utilizando el catalizador anteriormente mencionado.
- Determinar el tiempo de trabajo del material de impresión Z-PLUS, OranwashL, Silicón experimental tipo pesado y tipo ligero.
- Valorar de la fidelidad de detalle del material de impresión Z-PLUS, OranwashL, Silicón experimental tipo pesado y tipo ligero.
- Determinar el porcentaje de compresión del material de impresión Z-PLUS, OranwashL, Silicón experimental tipo pesado y tipo ligero.
- Determinar la deformación en compresión del material de impresión Z-PLUS, OranwashL, Silicón experimental tipo pesado y tipo ligero.

## **8. HIPÓTESIS**

### **Hipótesis de trabajo**

El catalizador, formulado en el laboratorio de materiales dentales no cristalizará y no afectará las propiedades físicas y mecánicas de la silicona experimental tipo pesado y tipo ligero.

## **9. METODOLOGÍA**

### **Tamaño de muestra**

Este fué un trabajo de tipo Experimental

### **Criterios De Inclusión**

Prueba del tiempo de mezclado:

- Muestras de Zetaplus para formar un volumen de 15 mL
- Muestras de Silicón experimental tipo pesado para formar un volumen de 15 mL
- Muestras de Oranwash L para formar un volumen de 15 mL
- Muestras de Silicón experimental de tipo ligero para formar un volumen de 15 mL

Prueba de tiempo de trabajo

- Muestras de Zetaplus de 20g.
- Muestras de Silicón experimental tipo pesado de 18g.
- Muestras de Oranwash L de 20g.
- Muestras de Silicón experimental de tipo ligero de 15g.

Pruebas de fidelidad de detalle

- Muestras de una medida según el fabricante de Zetaplus
- Muestras de 5 g de Silicón experimental tipo pesado.
- Muestras de una medida según el fabricante de Oranwash L
- Muestras de 4 g de Silicón experimental de tipo ligero.

Prueba de deformación en compresión

- Muestras de una medida según el fabricante de Zetaplus
- Muestras de 5 g de Silicón experimental tipo pesado.
- Muestras de una medida según el fabricante de Oranwash L
- Muestras de 4 g de Silicón experimental de tipo ligero.

Prueba de máximo porcentaje de compresión

- Muestras de una medida según el fabricante de Zetaplus
- Muestras de 5 g de Silicón experimental tipo pesado.
- Muestras de una medida según el fabricante de Oranwash L
- Muestras de 4 g de Silicón experimental de tipo ligero.

### **Criterios De Exclusión**

Todo material que no reúna las características enumeradas en los criterios de inclusión

### **VARIABLES DE ESTUDIO**

Independientes

- Cantidad del Octoato de estaño en el catalizador.
- Cantidad de Dibutil dilaurato de estaño en el catalizador.
- Cantidad Silicato de tetraetilo.
- Cantidad de dióxido de silicio.
- Tiempo de mezclado.

Dependientes

- Temperatura del laboratorio
- La humedad del laboratorio.
- La composición de cada material.

### **Recursos Humanos**

- 1 alumno
- 1 director

- 1 asesor

## **Recursos Físicos**

- Laboratorio de Investigación de Materiales Dentales de la D.E.P.e I.

## **Recursos Materiales**

### **Material**

- Dibutildilaurato de estaño (SIGMA-ALE)
- Octoato de estaño
- Silicato de tetraetilo (SIGMA-ALE)
- Silicona de condensación de consistencia pesada (Zetaplus®)
- Silicona de condensación de consistencia pesada (Ultrasil®)
- Silicona de condensación de consistencia ligera (Oranwash L®)
- Silicona de condensación de consistencia ligera (Exactodent®)
- Catalizador (Exactodent®)
- Aceite de silicón SI28 (Silicona productos de silicón, s.a. de c.v.)
- Silicón 421 de origen industrial (Silicona productos de silicón, s.a. de c.v.)
- Silicón 48 de origen industrial (Silicona productos de silicón, s.a. de c.v.)
- Dióxido de silicio silanizado

### **Equipo**

- Cronómetro digital (sper scientif USA)
- Balanza analítica (OHAUS)
- Loquetas de vidrio con un peso de  $2.5 \pm 0.5$  g y  $75 \pm 5$  g
- Molde de acero inoxidable plano de 3 mm de grosor; con cavidades de 3.0 mm de profundidad y 21 mm de diámetro.
- Seis discos de 16 mm de diámetro y 10 mm de altura para la prueba de tiempo de trabajo.
- Pesas de 125, 375, 500 y 1000g.
- Instrumento de medición con escala graduada en 0.01 mm.
- Molde de acero inoxidable de 12.5 mm y 20 mm de altura para la prueba de máximo porcentaje de compresión.
- Anillo de metal de acero de diámetro interior de 35 mm y 16 mm de altura
- Molde para prueba de fidelidad de detalle según especificación de ADA.

## Muestreo

El muestreo se encuentra enlistado en la tabla 3:

**Tabla 3.** Muestreo.

PRUEBA	Zetaplus	Pesada experimental	Oranwash L	Ligera experimental	Total
Tiempo de mezclado	Cinco	Cinco	Cinco	Cinco	20
Tiempo de trabajo	Cinco	Cinco	Cinco	Cinco	20
Fidelidad de detalle	Cinco	Cinco	Cinco	Cinco	20
Deformación en compresión	Cinco	Cinco	Cinco	Cinco	20
Máximo % de compresión	Cinco	Cinco	Cinco	Cinco	20
<b>Total</b>					<b>100</b>

## MÉTODO

### Reformulación del catalizador

Se formuló el catalizador tomando en cuenta los tres reactivos: Octoato de estaño (OAE), Dibutil dilaurato de estaño (DBL) y Silicato de tetraetilo (TEOS), que se muestran en la Figura 8.



Figura 8. Reactivos para preparar el catalizador.

Para conocer el tiempo de cristalización durante su almacenamiento se mezclaron, en un frasco de vidrio, el Dibutil dilaurato de estaño, el Octoato de estaño y el Silicato de tetraetilo, manteniéndolo cerrado a temperatura ambiente bajo el esquema de la Tabla 4.

**Tabla 4.** Formulaciones para preparar el catalizador.

FORMULACIÓN	CONSTANTE (g)	VARIANTE (g)
1	OAE 0.052 DBL 0.016	TEOS 0.109/0.024/ 0.036
2	OAE 0.0268 DBL 0.0161	TEOS 0.109/0.024/ 0.036
3	OAE 0.080 DBL 0.016	TEOS 0.109/0.024/ 0.036
4	OAE 0.080 DBL 0.032	TEOS 0.109/0.024/ 0.036
5	OAE 0.026 DBL 0.032	TEOS 0.109/0.024/ 0.036
6	OAE 0.141 DBL 0.016	TEOS 0.109/0.024/ 0.036
7	OAE 0.114 DBL 0.032	TEOS 0.036/ 0.07
8	OAE 0.141 DBL 0.032	TEOS 0.036/ 0.07
9	OAE 0.052 TEOS 0.024	DBL 0.016/ 0.032/ 0.048

Después de haber realizado las distintas formulaciones se pudo observar que todas tendían a cristalizarse, razón por la cual se probó cada uno de los líquidos para determinar cuál de los tres era el causante de dicha cristalización. Para esto se colocó una cantidad de 3 gotas, por cada uno, en un frasco de vidrio a una temperatura de 22 y 20°C. A cada frasco se le agregó: DBL y OAE, DBL y TEOS, OAE y TEOS y por último en un cuarto frasco se agregaron los tres juntos. Una vez determinado que el TEOS era el causante de la

cristalización se prepararon formulaciones con OAE y DBL (Tabla 5) para mezclarlas con silicona de cuerpo pesado (silicona experimental) a la cual se le agregó TEOS, dióxido de silicio (R-927), así como aceite de silicón (AS) en la composición (Figura 9) que se muestra en la Tabla 6.



Figura 9. Material utilizado para realización de la silicona experimental.

**Tabla 5.** Formulaciones 10, 11, 12, 13 y 14 ya sin TEOS en sus componentes.

FORMULACIÓN	OAE (g)	DBL (g)
10	0.052	0.016
11	0.052	0.032
12	0.080	0.016
13	0.026	0.032

**Tabla 6.** Formulación silicón experimental de cuerpo pesado.

MASILLA	TEOS (g)	ACEITE DE SILICÓN (g)
2.80	0.024	0
2.15	0.036	0.069
2.01	0.024	0
2.01	0.024	0.035

Se probaron las formulaciones de la Tabla 5 en cantidades de 0.021 y 0.046g como se señala en la Tabla 7 en muestras de 1.20g de silicón experimental (Tabla 8).

**Tabla 7.** Formulaciones 10, 11, 12 y 13.

FORMULA	CATALIZADOR (g)
10	0.021 y 0.046
11	0.021 y 0.046
12	0.021 y 0.046
13	0.021 y 0.046

**Tabla 8.** Silicón experimental de cuerpo pesado catalizado con formulaciones de la 10 a la 13.

MUESTRA (g)	FORMULACION (g)	CATALIZADOR (g)
1.20	10	0.021 y 0.046
1.20	11	0.021 y 0.046
1.20	12	0.021 y 0.046
1.20	13	0.021 y 0.046

Se eliminó totalmente el aceite de silicón (AS) de la masilla (silicón experimental de tipo pesado) y se agregaron 0.184 y 0.370g de TEOS a 15g de silicón experimental pesado. Las pruebas se realizaron con las formulaciones #10,11 y 12 de catalizador (Tabla 5), las cuales unas tenían en sus componentes AS y otras no, Tabla 9.

**Tabla 9.** Formulaciones #10,11 y 12 con y sin AS en sus componentes.

MUESTRA (g)	FORMULACION + AS (g)	CATALIZADOR (g)
1.20	10 + 0.145	0.021 y 0.046
1.20	10	0.021 y 0.046
1.20	11 + 0.145	0.021 y 0.046
1.20	11	0.021 y 0.046
1.20	12 + 0.145	0.021 y 0.046
1.20	12	0.021 y 0.046

A las siguientes pruebas se les agregó 0.145g de AS en el silicón de cuerpo pesado experimental junto con 0.184g de TEOS. También se agregó al catalizador 0.145g de AS y las cantidades que se utilizaron de catalizador para realizar las pruebas se encuentran en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Formulaciones probadas en silicón experimental de cuerpo pesado con AS en sus componentes.

MUESTRA (g)	FORMULACION + AS (g)	CATALIZADOR (g)
1.20	10 + 0.145	0.021
1.20		0.046
1.51		0.046
1.20	11 + 0.145	0.021
1.20		0.046
1.51		0.046
1.20	12 + 0.145	0.021
1.20		0.046
1.51		0.046

Se varió de nuevo la cantidad de TEOS a 0.07, 0.082 y 0.127g en 15g de silicón experimental pesado con 0.173g de AS. Se utilizaron los catalizadores que se señalan en la Tabla 10 con y sin AS, lo que se muestra en las Tablas 11, 12 y 13.

**Tabla 11.** Silicón experimental de cuerpo pesado con 0.070g de TEOS catalizada con las formulaciones 10, 11 y 12 con y sin AS.

15g experimental pesado+ 0.070g TEOS + 0.173g AS		
MUESTRA (g)	FORMULACION + AS (g)	CATALIZADOR (g)
1.20	10	0.021 y 0.046
1.20	10 + 0.145	0.021 y 0.046
1.20	11	0.021 y 0.046
1.20	11 + 0.145	0.021 y 0.046
1.20	12	0.021 y 0.046
1.20	12 + 0.145	0.021 y 0.046

**Tabla 12.** Silicón experimental de cuerpo pesado con 0.082g de TEOS catalizada con las formulaciones 10, 11 y 12 con y sin AS.

15g experimental pesado + 0.082g TEOS + 0.173g AS		
MUESTRA (g)	FORMULACION + AS (g)	CATALIZADOR (gts)
1.20	10	0.021 y 0.046
1.20	10 + 0.145	0.021 y 0.046
1.20	11	0.021 y 0.046
1.20	11 + 0.145	0.021 y 0.046
1.20	12	0.021 y 0.046
1.20	12 + 0.145	0.021 y 0.046

**Tabla 13.** Silicón experimental de cuerpo pesado con 0.127g de TEOS catalizada con las formulaciones 10, 11 con y sin AS.

15g experimental pesado + 0.127g TEOS + 0.173g AS		
MUESTRA (g)	FORMULACION + AS (g)	CATALIZADOR (g)
1.20	10	0.021 y 0.046
1.20	10 + 0.145	0.021 y 0.046
1.20	11	0.021 y 0.046
1.20	11 + 0.145	0.021 y 0.046
1.20	12	0.021 y 0.046
1.20	12 + 0.145	0.021 y 0.046

Una vez realizado el trabajo experimental, se realizaron las pruebas físicas y mecánicas de acuerdo a ADA comenzando con las pruebas físicas: tiempo de mezclado, tiempo de trabajo y fidelidad de detalle, posteriormente se realizaron las pruebas mecánicas: máximo porcentaje de compresión y deformación en compresión. Todas las pruebas físicas se realizaron bajo condiciones ambientales uniformes de  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Las cantidades que se utilizaron para la realización de las muestras del tiempo de mezclado de la silicona experimental tanto pesada como ligera, se mencionan en la Tabla 14; para el tiempo de trabajo, la Tabla 15; para fidelidad de detalle, máx. % en compresión y deformación en compresión, la Tabla 16.

**Tabla 14.** Cantidades base-catalizador para tiempo de mezclado.

Consistencia	Tamaño de muestra (g)	Cantidad de catalizador (g)
Silicona pesada	14.245	0.441
Silicona ligera	14.245	0.315

**Tabla 15.** Cantidades base-catalizador para tiempo de trabajo.

Consistencia	Tamaño de muestra (g)	Cantidad de catalizador (g)
Silicona pesada	18	0.441
Silicona ligera	15	0.315

**Tabla 16.** Cantidades base-catalizador para fidelidad de detalle.

Consistencia	Tamaño de muestra (g)	Cantidad de catalizador (g)
Silicona pesada	5	0.189
Silicona ligera	4	0.126

Las formulaciones del catalizador y del silicón experimental pesado y ligero que se utilizaron para realizar las pruebas físicas y mecánicas, se muestran en las Tablas 17, 18 y 19.

**Tabla 17.** Formulación del catalizador.

REACTIVOS	CANTIDAD (g)
Octoato de estaño (OAE)	0.080
Dibutil dilaurato de estaño (DBL)	0.016

**Tabla 18.** Componentes del silicón experimental pesado.

MATERIAL	CANTIDAD (g)
Silicón 48	15
Dióxido de silicio Mw-27	5.75
Dióxido de silicio Sil-15	15
Aceite de silicón	0.294
Silicato de tetraetilo (TEOS)	0.168

**Tabla 19.** Componentes del silicón experimental ligero.

MATERIAL	CANTIDAD (g)
Silicón 48	15
Aceite de silicón	0.346
Silicato de tetraetilo (TEOS)	0.224

Para la obtención de las pruebas anteriormente mencionadas la manipulación del material de impresión se basó en la presentación en que se encontraba:

pasta-pasta, pasta-liquido y se prepararon según las instrucciones proporcionadas por el fabricante, en el caso de los materiales comerciales. Los materiales a ensayar fueron: silicona experimental de cuerpo pesado, silicona experimental de cuerpo ligero, Z PLUS® y OranwashL®.

El silicón de condensación ligera se depositó sobre una loseta en dos longitudes iguales de 10cm, de material base y catalizador. <sup>(13)</sup>

Primero se distribuyó la pasta catalizadora con la espátula de acero inoxidable en la base, la mezcla se extendió sobre toda la loseta para obtener un mezclado adecuado del material; se incorporó por medio de la espátula y se alisó de nuevo. El proceso continuo hasta que adquirió un color uniforme, sin estrías de base o catalizador.

La manipulación para la consistencia pesada, al igual que la ligera, se realizó de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Se dispensó el material por medio de una cucharilla medidora, proporcionada por el fabricante, en el caso de la silicona comercial. Se adicionó el activador de acuerdo a lo recomendado por el fabricante, que es igual a la longitud de la cucharilla medidora, y se mezcló con los dedos para impregnar la masilla con el activador.

Posteriormente se realizaron las pruebas, basadas en los requerimientos solicitados por la Asociación Dental Americana. Todas las pruebas físicas se realizaron bajo condiciones ambientales uniformes de  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### **Tiempo de mezclado**

Una cantidad de material se mezcló en un tiempo determinado para formar un volumen mínimo de 15 mL. El tiempo mínimo requerido sirvió para obtener una mezcla uniforme (Figura 10), esencialmente libre de estrías.



Figura 10. Tiempo de mezclado

### Tiempo de trabajo

Una cantidad suficiente de material se mezcló colocándolo en un molde de acero inoxidable montado en una placa de acero inoxidable. Cada cavidad fue de 3.0 mm de profundidad y 25.4 milímetros de diámetro (Figura 11), el material se niveló con una espátula.

Los discos numerados serialmente (de polimetilmetacrilato no plastificado o nylon), de 16 mm de diámetro y 10 mm de alto, se colocaron sobre el material a intervalos de 30 segundos según el horario marcado en la Tabla 20.



Figura 11. Discos de poli metil metacrilato y molde de acero

**Tabla 20.** Calendario de colocación de los discos en el procedimiento del tiempo de trabajo.

Disco No. 1	1.5 minutos después del inicio del mezclado.
Disco No. 2	0.5 minutos antes del tiempo mínimo de trabajo establecido
Disco No. 3	0 minutos antes del tiempo mínimo de trabajo establecido
Disco No. 4	0.5 minutos después del tiempo mínimo de trabajo establecido
Disco No. 5	1.0 minutos después del tiempo mínimo de trabajo establecido
Disco No. 6	1.5 minutos después del tiempo mínimo de trabajo establecido

Se omitió el disco No. 2 si el tiempo mínimo de trabajo era menor a 2.5 minutos.

Posteriormente se usó un aparato equipado con una escala graduada en 0.02 milímetros o menos secciones. La carga requerida de acuerdo a su consistencia según la tabla 21 fue aplicada inmediatamente de manera axial durante 15 segundos.

**Tabla 21.** Viscosidad de los materiales de impresión

Viscosidad	Carga total Requerida (g)
Muy alta	2000
Alta	2000
Media	500
Baja	125

La carga que se aplicó fue rápidamente removida; pero el disco permaneció inmóvil en su posición.

Una vez transcurrido el tiempo mínimo para remover el material, se leyó la altura del disco, leída con una precisión de 0.02 milímetros usando una carga total de 125 gramos, registrándolo como lectura B (Figura 12).



Figura 12. Colocación de los discos para la lectura B

La altura de cada disco fue leída con el reloj de medición y registrada como lectura A (Figura 13). Se determinó H como:  $B-A=H$ .



Figura 13. Colocación de los discos para la lectura A

La primera vez en que H llegó a ser igual o mayor a 0.20 milímetros o dos veces su valor en 1.5 minutos, se adjudicó el valor de cualquiera de ellos como el tiempo de trabajo.

### **Reproducción de detalle**

Se requirió de un bloque trazado (parte AA) y un molde (parte BB). El molde se lubricó con aceite de silicón. El molde (BB) se colocó sobre el bloque de prueba (AA). El material se mezcló y se colocó dentro del molde, minuto y medio después de haber iniciado la mezcla, usando una espátula. El molde se cubrió inmediatamente con una cinta mylar seguida de una placa delgada de metal y se aplicó una fuerza suficiente para asentar la placa contra el molde, eliminando el exceso de material. El montaje fue transferido inmediatamente a un baño maría a  $32 \pm 2$  °C (Figura 14). Tres minutos después del tiempo mínimo para remover el material, el molde y el material de muestra fueron separados

(Figura 15) y se observó a simple vista la reproducción de las distintas líneas (75, 50 y 20 micras).



Figura 16 . Baño maría



Figura 17. Separación de la muestra

### **Máximo Porcentaje de Compresión**

Para esta prueba se requirió de un molde de acero inoxidable dividido, de 12.5 milímetros de diámetro interior y 20 milímetros de altura, sujetado con un anillo de metal de 35 milímetros de diámetro exterior y 16 milímetros de altura (Figura 16). El molde fue lubricado con aceite de silicón (tipo alto vacío) para evitar que el material de impresión se adhiriera.



Figura 16. Molde de acero inoxidable.

Se mezcló una cantidad suficiente de material de acuerdo a las instrucciones del fabricante colocándolo dentro del molde por medio de una espátula, seguida de una cinta mylar. Una placa cuadrada de metal se puso en contacto en los bordes del molde usando una prensa, eliminando el exceso de material.

Transcurrido minuto y medio desde el inicio de la mezcla, el molde acompañado por las placas fue colocado en un baño maría a  $32 \pm 1$  °C. El molde y las placas permanecieron el tiempo mínimo recomendado por el fabricante para retirar de boca el material de impresión como se indica la Tabla 22:

**Tabla 22.** Tiempo mínimo recomendado por el fabricante para retirar el material de boca.

Material	Tiempo (min)
Zetaplus	3:15

Oranwash L	3:30
Silicón pesado	7:30
Silicón Ligero	4:30

Un minuto después de la remoción de la muestra del baño, la muestra fue colocada en un instrumento de medición que consiste esencialmente de una escala graduada cada 0.02 milímetros o menos, montada sobre una base fija y equipado con un tornillo, colocado de tal manera que se aplicó suficiente fuerza a la muestra. Se colocó una placa de  $2.5 \pm 0.5$ g sobre la muestra y la base del medidor fue puesto en contacto con la placa. El peso de la placa más la fuerza de los resortes del aparato equivalían a  $50 \pm 5$  g. El aparato se leyó 30 segundos después de que el pie del mismo hizo contacto con la placa y el valor obtenido se anotó como lectura A.



Figura 17. Registro de lectura A y B

El pie del aparato fue bajado a 2.4 milímetros utilizando el tornillo y se mantuvo en esta posición 30 segundos sobre la muestra, enseguida se levanto el pie (dejando solamente la placa de vidrio) durante 30 segundos. Posteriormente se colocó nuevamente sobre la placa por 30 segundos, y se tomó una segunda lectura. El valor fue anotado como lectura B (Figura 17)

La diferencia de lecturas entre A y B dividida entre la longitud original de la muestra y multiplicada por 100, fue considerado como el porcentaje de compresión. La altura del molde (20 milímetros) fue considerada como la longitud original de la muestra.

El valor del conjunto de compresión fue el promedio de cinco determinaciones y fue anotado redondeándolo a 0.1%.

$$(A-B/20) \times 100 = \% \text{ de compresión.}$$

### **Deformación por compresión**

Las muestras fueron elaboradas de acuerdo al punto anterior.

Seis minutos después de remover la muestra del baño maría, la muestra se colocó en un instrumento (Figura 18) y se sujetó a una carga calculada para producir un esfuerzo de  $100 \text{ g/cm}^2$ ; transcurridos 30 segundos con la carga se anotó la primera lectura de la escala graduada en 0.02 mm o menos. Este valor fue la lectura A. Después de 60 segundos de la aplicación del esfuerzo de  $100 \text{ g/cm}^2$ , se aplicó gradualmente un esfuerzo de  $1000 \text{ g/cm}^2$  durante un intervalo de 10 segundos. A los 30 segundos de iniciado el esfuerzo de  $1000 \text{ g/cm}^2$  se tomó la lectura B. La diferencia entre la lectura A y B, dividida entre la longitud original de la muestra y multiplicada por 100, se registro como el porcentaje de deformación entre los esfuerzos de 100 y  $1000 \text{ g/cm}^2$ . La altura del molde (20 mm) fue considerada como la longitud original de la muestra. El valor para la deformación en compresión fue el promedio de cinco determinaciones y se registro lo más cercano a 0.1%.



Figura 18. Instrumento de precisión y carga requerida.

## 10. RESULTADOS

Las distintas formulaciones (Tabla 4) que fueron probadas, de manera observacional, se fueron descartando debido a que todas las formulaciones cristalizaban. Se observó que dicha cristalización se debía al mezclar únicamente octoato de estaño (OAE) con el silicato de tetraetilo (TEOS) en contacto con el aire en cantidades bajas, también se observó que dependiendo de la temperatura, la velocidad de la cristalización varía, es decir a una temperatura de 22 °C cristaliza con mayor velocidad que a 20 °C.

Por tal motivo, se decidió retirar el TEOS de las mezclas (Tabla 4) para preparar las formulaciones de la Tabla 5. Encontrándose que el TEOS era el causante de la cristalización ya que ninguna de las formulaciones propuestas (10-13) cristalizaron.

Los resultados de tiempo de trabajo y de polimerización se obtuvieron al eliminar el TEOS del catalizador colocándolo en el silicón experimental de consistencia pesada (Tabla 6) mostrándose en la Tabla 23.

**Tabla 23.** Tiempos de trabajo y polimerización del silicón experimental de consistencia pesada con TEOS.

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	75	20.0
	0.046		40	6.0
11	0.021	1.20	90	20.0
	0.046		50	7.0
12	0.021	1.20	40	6.0
	0.046		60	15.0
13	0.021	1.20	90	15.0
	0.046		90	20.0

En las Tablas 24 y 25 se muestran los resultados de tiempo de trabajo y polimerización al eliminar el Aceite de silicón (AS) del silicón experimental de cuerpo pesado (Tabla 9) para observar que tanta influencia tenía el aceite en contacto directo con el catalizador.

**Tabla 24.** Tiempos de trabajo y polimerización silicón experimental de cuerpo pesado sin Aceite de silicón (AS).

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	55	5.5
10	0.046	1.20	40	4.0
11	0.021	1.20	80	14.0
11	0.046	1.20	50	4.5
12	0.021	1.20	60	12.0
12	0.046	1.20	60	5.0

**Tabla 25.** Tiempos de trabajo y polimerización Catalizador con AS.

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	90	20.00
10	0.046	1.20	60	15.00
11	0.021	1.20	90	24.00
11	0.046	1.20	60	5.00
12	0.021	1.20	90	27.00
12	0.046	1.20	80	7.30

Después de ver el tiempo de trabajo reducido (Tabla 24) para aumentarlo se agregó una cantidad de 0.145g de AS (Tabla 10), los resultados se muestran en la Tabla 26. En donde se muestra que efectivamente aumentó el tiempo de trabajo pero así también el tiempo de polimerizado, en gran cantidad.

**Tabla 26.** Tiempos de trabajo y polimerización de formulaciones sin aceite de silicón.

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	90	20.0
10	0.046	1.20	90	20.0
11	0.021	1.20	90	20.0
11	0.046	1.20	90	8.0

12	0.021	1.20	80	25.0
12	0.046	1.20	60	9.5

Como se puede observar en la Tabla 26 se logró aumentar el tiempo de trabajo pero también aumentó el tiempo de polimerizado, debido a esto se agregó aceite de silicón al catalizador (Tabla 11) tratando de aumentar el tiempo de trabajo como se muestra en la Tabla 27.

**Tabla 27.** Tiempos de trabajo y polimerización de formulaciones con aceite de silicón.

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	90	20.0
10	0.046	1.20	60	5.0
11	0.021	1.20	90	25.0
11	0.046	1.20	70	9.0
12	0.021	1.20	105	20.0
	0.046	1.20	80	21.0

El resultado que se obtuvo de la Tabla 27, fue que con las formulaciones No.10 (0.021) con respecto a la Tabla 26, el tiempo de trabajo y tiempo de polimerizado se mantuvieron, con la formulación No. 10 (0.046) a diferencia de la Tabla 26 se redujeron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado; formulación No.11 (0.021) en comparación con la Tabla 26 el tiempo de trabajo se mantuvo pero el tiempo de polimerizado aumentó, en la formulación 11 (0.046) con respecto a la Tabla 26 disminuyó el tiempo de trabajo y aumentó el tiempo de polimerizado; en la formulación No.12 (0.021) con respecto a la Tabla 26 aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado, en la formulación No. 12 (0.046) en comparación con la Tabla 26 hubo un aumento tanto en el tiempo de trabajo como en el tiempo de polimerizado. De esta manera se logra observar que hubo un incremento en el tiempo de polimerizado en la mayoría de las formulaciones al igual que en el tiempo de trabajo, debido a la presencia de AS.

Por otra parte, para disminuir el tiempo de polimerizado se decidió agregar distintas cantidades de TEOS, teniendo en consideración que el tiempo de trabajo también disminuiría. Los resultados que se obtuvieron después de

variar la cantidad de TEOS a 0.070, 0.082 y 0.127g con y sin 0.173g de AS (Tablas 11, 12 y 13) se mencionan en las Tablas 28 a la 33.

**Tabla 28.** Tiempos de trabajo y polimerización de silicón experimental de cuerpo pesado con 0.070g de TEOS.

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	55	6.0
10	0.046	1.20	50	6.0
11	0.021	1.20	120	20.0
11	0.046	1.20	90	7.0
12	0.021	1.20	75	8.0
12	0.046	1.20	60	5.0

Los resultados que se obtuvieron de la Tabla 28 en comparación con la Tabla 27 fueron: formulación No.10 (0.021) tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado disminuyeron y en la formulación No.10 (0.046) el tiempo de trabajo disminuyó y el tiempo de polimerizado aumentó; en la formulación 11 (0.021) y (0.046) aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado; en la formulación No.12 (0.021) disminuyeron notablemente tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado y en la formulación No.12 (0.046) disminuyeron ambos tiempos (trabajo y polimerizado).

Por lo tanto se observa que disminuyó en la mayoría de las formulaciones el tiempo de trabajo y polimerizado debido a la ausencia de AS y a la variación de TEOS

**Tabla 29.** Tiempos de trabajo y polimerización de silicón experimental de cuerpo pesado con 0.070g de STE y Aceite de silicón en el catalizador.

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	105	12.0
10	0.046	1.20	55	6.5
11	0.021	1.20	145	20.0
11	0.046	1.20	120	12.0
12	0.021	1.20	43	9.0
12	0.046	1.20	75	8.0

En comparación con la Tabla 27, la Tabla 29 mostró los siguientes resultados: en la formulación No.10 (0.021) aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el

tiempo de polimerizado y en la formulación No.10 (0.046) disminuyó el tiempo de trabajo y aumentó el tiempo de polimerizado; en la formulación No.11 (0.021) aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado y en la formulación No.11 (0.046) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado; en la formulación No.12 (0.021) disminuyeron notablemente tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado, formulación No.12 (0.046) disminuyeron ambos tiempos observando una considerable disminución en el tiempo de polimerizado.

Como logra observarse a pesar de que el catalizador contiene AS en sus componentes aún así bajo el tiempo de polimerizado y aumento ligeramente el tiempo de trabajo, aunque también disminuyó notablemente en otras.

Por otro lado, la diferencia que hay entre la Tabla 28 y 29 es la presencia de aceite de silicón obteniéndose los siguientes resultados: formulación No.10 (0.021) respecto con la Tabla 28 aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado, la formulación No.10 (0.046) a diferencia de la Tabla 28 disminuyó el tiempo de trabajo y aumentó el tiempo de polimerizado; formulación No.11 (0.021) respecto a la Tabla 28 aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado y en la formulación No.11 (0.046) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado; formulación No.12 (0.021) disminuyeron notablemente tanto el tiempo de trabajo así como el tiempo de polimerizado y en la formulación No.12 (0.046) disminuyeron ambos tiempos observando una mayor disminución en el tiempo de polimerizado. Por lo tanto, se pudo observar que el AS es el causante de que aumente el tiempo de trabajo.

Así como en las tablas 28 y 29 que se tomó como punto de diferencia a la tabla 27, se realizó lo mismo para la Tabla 30 y 31 en las que se aumentó la cantidad de TEOS a 0.082g con AS y sin AS (Tabla 12).

**Tabla 30.** Tiempos de trabajo y polimerización del silicón experimental de cuerpo pesado con 0.082g de TEOS.

Formulación	Catalizador	Muestra	Tiempo de trabajo	Tiempo de
-------------	-------------	---------	-------------------	-----------

	(g)	(g)	(s)	polimerizado (min)
10	0.021	1.20	80	7.5
10	0.046	1.20	55	6.5
11	0.021	1.20	155	16.0
11	0.046	1.20	75	6.0
12	0.021	1.20	90	11.0
12	0.046	1.20	49	5.0

Como se observa en la Tabla 30, en la formulación No. 10 (0.021) con respecto a la Tabla 27, disminuyeron ambos tiempos (trabajo y polimerizado) y en la formulación No 10 (0.046) disminuyó el tiempo de trabajo y aumentó el tiempo de polimerizado; formulación No.11 (0.021) y en la formulación No.11 (0.046) a diferencia de la Tabla 27 aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado; formulación 12 (0.021) en relación con la Tabla 27 disminuyeron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado y en la formulación No. 12 (0.046) disminuyeron considerablemente ambos tiempos.

Hubo una disminución considerable en el tiempo de polimerizado y en el tiempo de trabajo, exceptuando en la formulación No.11 (0.021) en la se ve un aumentó significativo en el tiempo de trabajo. Esta disminución en ambos tiempo se cree que es debido al ligero aumento en la cantidad de TEOS.

**Tabla 31.** Tiempos de trabajo y polimerización del silicón experimental de cuerpo pesado con 0.082g de TEOS y aceite de silicón en el catalizador.

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	120	15.0
10	0.046	1.20	56	5.0
11	0.021	1.20	163	27.0
11	0.046	1.20	120	13.0
12	0.021	1.20	75	12.0
12	0.046	1.20	60	5.0

Los resultados que se obtuvieron de la tabla 31 con respecto a la Tabla 27 fueron: en la formulación No.10 (0.021) aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado y la formulación No 10 (0.046) aumentó el tiempo de trabajo pero al mismo tiempo el de polimerizado no tuvo cambios; en

la formulación No.11 (0.021) y en la formulación No.11 (0.046) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado; en la formulación No.12 (0.021) y en la formulación No.12 (0.046) disminuyeron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado.

En este caso tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado dieron resultados totalmente diferentes ya que como se puede observar con unas formulaciones disminuían los tiempos, pero con otras aumentaba.

En las Tablas 30 y 31 se muestran cambios como: en la formulación No.10 (0.021) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado y en la formulación No.10 (0.046) aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado; en la formulación No.11 (0.021) y en la formulación No.11 (0.046) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado considerablemente; en la formulación 12 (0.021) disminuyó el tiempo de trabajo y aumentó el tiempo de polimerizado y en la formulación No. 12 (0.046) aumentó el tiempo de trabajo y en el tiempo de polimerizado no hubo cambios.

La diferencia que se nota entre las Tablas 30 y 31 es que efectivamente al llevar una de ellas AS (Tabla 31) aumenta el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado, existiendo sus excepciones como las formulaciones 12 (0.021) y 10 (0.046).

De la misma manera, se decidió aumentar de nuevo el TEOS a 127g y al igual que en las Tablas anteriores se añadió aceite de silicón a unas formulaciones y a otras no.

**Tabla 32.** Tiempos de trabajo y polimerización del silicón experimental de cuerpo pesado con 0.127g de TEOS.

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	148	12.0
10	0.046	1.20	70	7.5
11	0.021	1.20	150	26.0
11	0.046	1.20	75	8.5
12	0.021	1.20	46	9.0

12	0.046	1.20	48	6.5
----	-------	------	----	-----

Los resultados de la tabla 32 se compararon, de nuevo, con la Tabla 27 observándose lo siguiente: en la formulación No.10 (0.021) aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado y en la formulación No.10 (0.046) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado; en la formulación No.11 (0.021) aumentaron ambos tiempos y en la formulación No.11 (0.046) se muestra un aumentó en el tiempo de trabajo y una disminución en el tiempo de polimerizado poco considerable; en la formulación No.12 (0.021) y en la formulación No.12 (0.046) disminuyó el tiempo de trabajo y considerablemente más el tiempo de polimerizado.

Se puede observar que aumentó el tiempo de trabajo en casi todas las formulaciones, excepto en la formulación 12 y el tiempo de polimerizado disminuyó en la mayoría de las formulaciones excepto en la formulación 10 (0.046) y 11 (0.021) a pesar de haber aumentado de nuevo el TEOS y no contar con AS.

La Tabla 33 se comparó en resultados con la Tabla 27 obteniéndose lo siguiente: en la formulación No.10 (0.021) disminuyeron ambos tiempos y en la formulación No.10 (0.046) ambos tiempos aumentaron; en la formulación No.11 (0.021) y en la formulación No.11 (0.046) aumentaron ambos tiempos (trabajo y polimerizado); en la formulación No.12 (0.021) y en la formulación No.12 (0.046) disminuyó el tiempo de trabajo y disminuyó aún más el tiempo de polimerizado.

**Tabla 33.** Tiempos de trabajo y polimerización del silicón experimental de cuerpo pesado con 0.127g de TEOS y aceite de silicón en el catalizador.

Formulación	Catalizador (g)	Muestra (g)	Tiempo de trabajo (s)	Tiempo de polimerizado (min)
10	0.021	1.20	37	8.0
10	0.046	1.20	75	15.0
11	0.021	1.20	150	29.0
11	0.046	1.20	80	18.0
12	0.021	1.20	80	13.0
12	0.046	1.20	60	9.0

Se muestra que a pesar de que el catalizador cuenta con AS hubo una disminución notable en el tiempo de trabajo y en el tiempo de polimerizado aumento y disminuyó de manera semejante con todas las formulaciones.

De la misma manera comparando la Tabla 32 con la 33 se obtuvo que la formulación No.10 (0.021) disminuyeron ambos tiempos y en la formulación No.10 (0.046) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado; en la formulación No.11 (0.021) el tiempo de trabajo no tuvo cambios pero el tiempo de polimerizado si aumentó y en la formulación No.11 (0.046) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado; en la formulación No.12 (0.021) y en la formulación No.12 (0.046) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado.

Los resultados de las pruebas con 0.070g y 0.082g de STE, el hecho de agregar aceite de silicón al catalizador aumenta el tiempo de trabajo pero también aumenta el tiempo de polimerizado (Tabla 33) hasta mas de 10 minutos, debido a esto se decidió eliminar por completo al aceite de silicón de los componentes del catalizador. Así también se eliminó la formulación No. 11 debido a que fue la que mostró resultados poco satisfactorios en ambos tiempos en comparación con las formulaciones No.10 y 12.

Por medio de estas pruebas se pudo observar que la cantidad de TEOS tiene una gran influencia sobre el tiempo de trabajo y tiempo de polimerizado ya que al bajar la cantidad de TEOS aumenta el tiempo de trabajo sin variar demasiado el tiempo de polimerizado. Aunque al añadir aceite de silicón también se nota una diferencia marcada sobre ambos tiempos.

Los resultados obtenidos por medio de las pruebas requeridas por la Norma No. 19 de ADA, durante la realización del estudio de la silicona experimental en consistencia pesada, se presentan en las tablas 34 a 37, con las cantidades expresadas en las Tablas 14 a la 16.

**Tabla 34.** Pruebas físicas y mecánicas de la silicona experimental consistencia pesada

Prueba	Tiempo de mezcla (s)	Tiempo de trabajo (s)	Reproducción de detalle 0.020 mm	Deformación en compresión %	Máx. en compresión %
1 <sup>a</sup>	45	90	Si cumple	2.10	0.35
2 <sup>a</sup>	58	90	Si cumple	2.00	0.25
3 <sup>a</sup>	42	90	Si cumple	1.90	0.40
4 <sup>a</sup>	42	90	Si cumple	1.65	0.32
5 <sup>a</sup>	46	90	Si cumple	1.95	0.44
Promedio	<b>47</b>	<b>90</b>	<b>Si cumple</b>	<b>1.92</b>	<b>0.35</b>
Desviación estándar	<b>6.6</b>	<b>0.0</b>		<b>0.168</b>	<b>0.07</b>

**Tabla 35.** Pruebas físicas y mecánicas de la silicona experimental consistencia ligera.

Prueba	Tiempo de mezcla (s)	Tiempo de trabajo (s)	Reproducción de detalle 0.020 mm	Deformación en compresión %	Máx. en compresión %
1 <sup>a</sup>	32	120	Si cumple	15.65	0.25

2 <sup>a</sup>	35	120	Si cumple	14.00	0.15
3 <sup>a</sup>	29	90	Si cumple	15.65	0.25
4 <sup>a</sup>	25	120	Si cumple	16.70	0.15
5 <sup>a</sup>	31	120	Si cumple	14.70	0.10
Promedio	<b>30</b>	<b>114</b>	<b>Si cumple</b>	<b>15.30</b>	<b>0.20</b>
Desviación estándar	<b>3.7</b>	<b>13.416</b>		<b>1.03</b>	<b>0.06</b>

Como logra observarse en las Tablas 34 y 35 el tiempo de mezclado varía de 47 a 30 segundos, el tiempo de trabajo va de 90 a 114 segundos, la deformación en compresión es de 1.92%, para la consistencia pesada y 15.3% para la consistencia ligera, en el máximo porcentaje en compresión se observa un 0.35% en la consistencia pesada a diferencia del 0.20 de la consistencia ligera, para la prueba de fidelidad de detalle ambos mostraron buenos resultados. Esto es probablemente debido al contenido de carga, ya que a diferencia del silicón de consistencia pesada el silicón de consistencia ligera no tiene relleno, así como también existe otra posibilidad de que otro factor que influye es la cantidad de TEOS.

**Tabla 36.** Pruebas físicas y mecánicas de la silicona comercial (Zhemark) Zetaplus

Prueba	Tiempo de mezcla (seg.)	Tiempo de trabajo (seg.)	Reproducción de detalle mm	Deformación en compresión %	Máx. en compresión %
1 <sup>a</sup>	23	79	Si cumple	2.05	2.61

2 <sup>a</sup>	26	101	Si cumple	2.50	1.82
3 <sup>a</sup>	23	66	Si cumple	1.70	2.46
4 <sup>a</sup>	22	68	Si cumple	1.85	1.98
5 <sup>a</sup>	26	71	Si cumple	1.50	2.64
Promedio	<b>24</b>	<b>77</b>	<b>Si cumple</b>	<b>1.90</b>	<b>2.30</b>
Desviación estándar	<b>1.7</b>	<b>30.6</b>		<b>0.38</b>	<b>0.38</b>

De acuerdo a lo obtenido, por el silicón experimental pesado (Tabla 34) y el silicón comercial Zetaplus (Tabla 36), en las pruebas fue de: tiempo de mezclado 47 (silicón experimental) y 24 segundos (Zetaplus), tiempo de trabajo de 90 segundos (silicón experimental) y 77 segundos (Zetaplus), deformación en compresión de 1.90% (silicón experimental) y 1.90% (Zetaplus), % en compresión de 0.35% (silicón experimental) y 2.30% (Zetaplus) y por ultimo en la prueba de fidelidad de detalle las líneas eran mas nítidas en el silicón experimental que en Zetaplus. La diferencia entre ambos silicones es notaría en todas las pruebas con excepción de la prueba de deformación en compresión en la que ambos materiales arrojan el mismo porcentaje.

**Tabla 37.** Pruebas físicas y mecánicas de la silicona comercial (Zhemark) Oranwash L.

Prueba	Tiempo de mezcla (seg.)	Tiempo de trabajo (seg.)	Reproducción de detalle 0.020 mm	Deformación en compresión %	Máx. en compresión %
1 <sup>a</sup>	21	23	Si cumple	2.40	1.74
2 <sup>a</sup>	23	22	Si cumple	2.25	1.64
3 <sup>a</sup>	22	49	Si cumple	1.95	1.93

4 <sup>a</sup>	23	29	Si cumple	1.95	1.84
5 <sup>a</sup>	21	30	Si cumple	3.00	1.71
Promedio	<b>22</b>	<b>30</b>	<b>Si cumple</b>	<b>2.31</b>	<b>1.77</b>
Desviación estándar	<b>1</b>	<b>10.88</b>		<b>0.43</b>	<b>0.114</b>

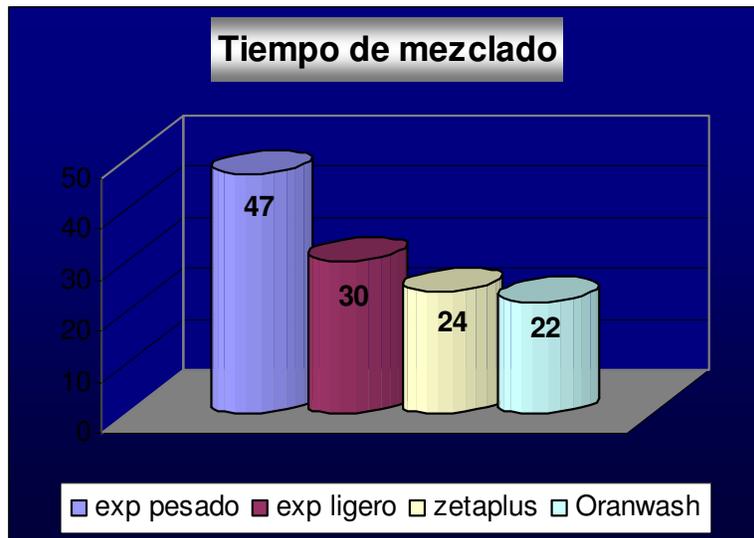
Las diferencias que se encontraron en los resultados (Tablas 35 y 37) entre el silicón experimental ligero y el comercial OranwashL son: tiempo de mezclado 30 s en el silicón experimental y 22 s en OranwashL, tiempo de trabajo 114 s en el silicón experimental y 30.6 s en OranwashL, deformación en compresión de 15.3% en silicón experimental y 2.3% en OranwashL, % en compresión fue de 0.18% en el silicón experimental y 1.77% para OranwashL, finalmente en fidelidad detalle se notó una mejor reproducción de las líneas (20, 50 y 70 micras) a diferencia de OranwashL. En todas las pruebas realizadas se puede notar una gran diferencia en valores obtenidos.

El análisis estadístico se muestra en las Gráficas 1, 2, 3, 4 y en las Tablas 34 a la 37 se comparan los valores promedio de las cinco pruebas con los requerimientos de la norma 19 de ADA.

**Tabla 30.** Tiempo de mezclado.

Material	Valor promedio (s)	Requerimiento Máx 1 min=60s.
Silicona exp. pesada	47	Si cumple
Silicona exp. ligera	30	Si cumple
Zetaplus	24	Si cumple
Oranwash L	22	Si cumple

**Grafica 1.** Valor promedio de Tiempo de mezclado.

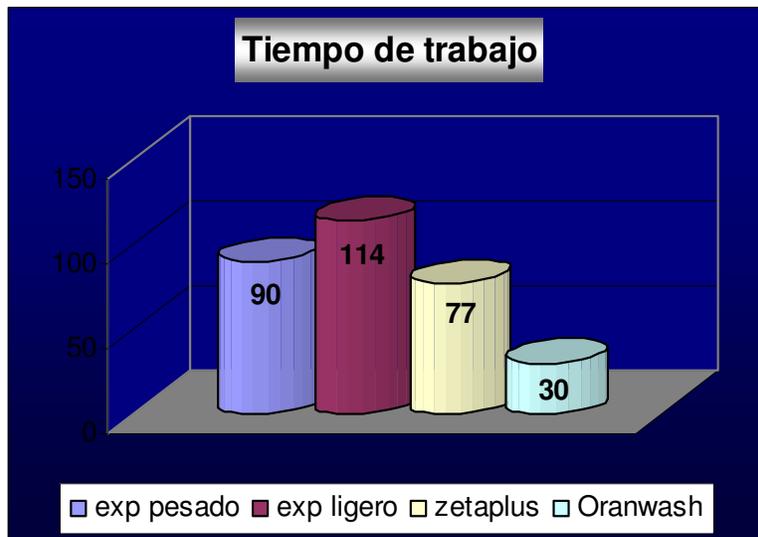


Como se indica en la Gráfica 1 el grupo de mayor tiempo de mezclado fue el experimental pesado con una media de 47s y una Desviación estándar de 6.6s teniendo diferencias estadísticamente significativas con todos los grupos ( $P < 0.05$ ).

**Tabla 31.** Tiempo de trabajo.

Material	Valor promedio (s)	Requerimiento
Silicona exp. Pesada	90	No cumple
Silicona exp. ligera	114	Si cumple
Zetaplus	77	No cumple
Oranwash L	30	No cumple

**Grafica 2.** Valor promedio de Tiempo de trabajo.

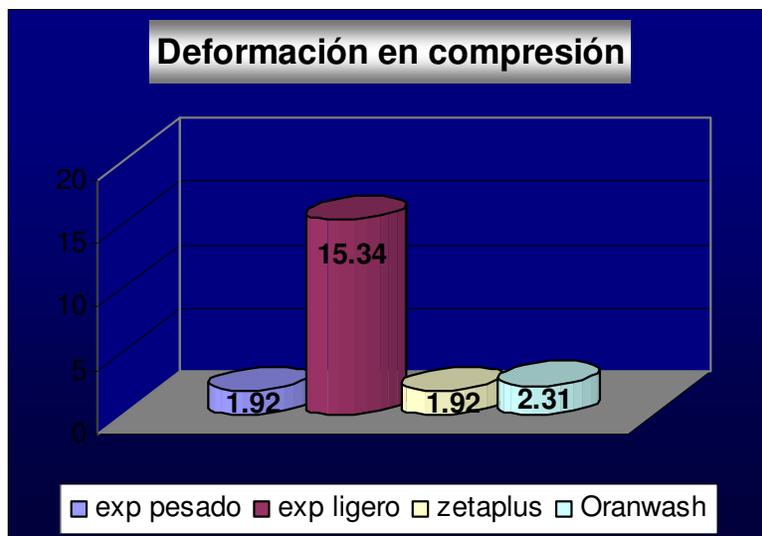


De acuerdo a lo indicado en la Gráfica, el mayor tiempo de trabajo lo dio el experimental ligero con una media de 114s y una Desviación estándar de 13.416s teniendo diferencias estadísticamente significativas con todos los grupos, ( $P < 0.005$ ).

**Tabla 32.** Deformación en compresión.

Material	Valor promedio %	Requerimiento de 2.0-20.0 %
Silicona exp. pesada	1.92	No cumple
Silicona exp. ligera	15.34	Si cumple
Zetaplus	1.92	No cumple
Oranwash L	2.31	Si cumple

**Gráfica 5.** Valor promedio de Deformación en compresión.

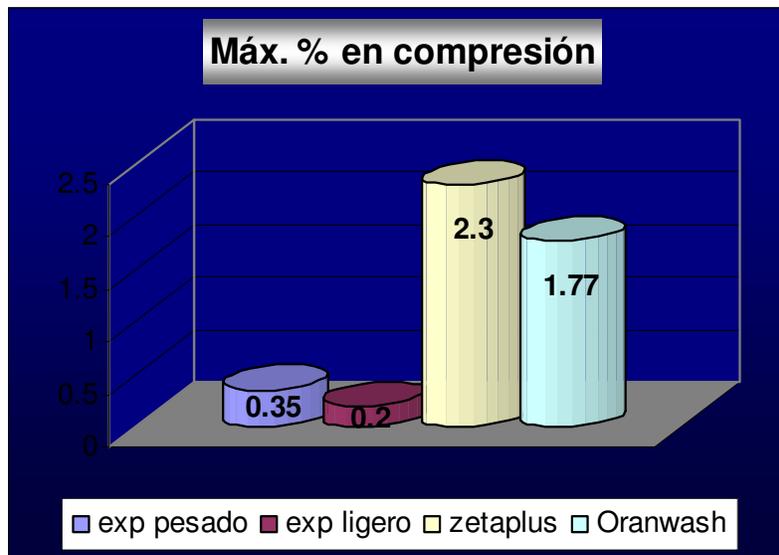


Como se indica en la grafica, el grupo con mayor deformación fue el experimental ligero con una media de 15.3 % y una Desviación estándar de 1.03% teniendo diferencias estadísticamente significativas con todos los grupo, (P<0.05).

**Tabla 33.** Máx. % en compresión.

Material	Valor promedio %	Requerimiento de 2.5 % máx.
Silicona exp. pesada	0.35	Si cumple
Silicona exp. ligera	0.20	Si cumple
Zetaplus	2.30	Si cumple
Oranwash L	1.77	Si cumple

**Grafica 7.** Valor promedio de Máx. % en compresión.



Como se indica en la Gráfica el grupo con el Máximo % en compresión fue el Zetaplus con una media de 2.3% y una Desviación estándar de 0.38% (P=0.111) teniendo diferencias estadísticamente significativas con todos los grupos, (P<0.001).

## 11. DISCUSIÓN

Los materiales elastoméricos para impresión son utilizados por los dentistas hoy en día. Estos materiales tienen propiedades físicas y químicas, de las cuales tienen ventajas y desventajas. La selección de un material para una aplicación en particular requiere la consideración de varios factores entre ellos la fidelidad de detalle, el tiempo de mezclado, el tiempo de trabajo, entre otros. <sup>(21)</sup> La exactitud, propiedad esencial para un elastómero de impresión dental, depende de la habilidad del elastómero para regresar a su forma original una vez que fue sometido a un esfuerzo conocido como comportamiento elástico.

Se entiende por comportamiento elástico cuando al retirar la fuerza el sólido recupera su forma primitiva. Ahora bien, si se sobrepasa el valor máximo de la fuerza exterior, en el sólido se producen deformaciones que ya no son

recuperables; se dice entonces que tiene un comportamiento inelástico. Por lo tanto se debe tomar en cuenta el límite de elasticidad que es la mínima fuerza, por unidad de sección que es capaz de producir una modificación permanente. Si se aumenta gradualmente la fuerza exterior por encima del límite de elasticidad, el sólido continúa deformándose. La ley que regula el comportamiento elástico es la Ley de Hooke que enuncia lo siguiente: “Las deformaciones o cambios de volumen producidos en los cuerpos, son directamente proporcionales a las fuerzas o momentos de pares que los produjeron, siempre que no se rebase el límite de elasticidad”.<sup>(22)</sup>

Al alargar un cuerpo, la distancia entre sus átomos aumenta y entre ellos actúan las fuerzas de tracción o repulsión que obligan a estos a acercarse o separarse de nuevo a la distancia original al cesar la acción exterior.

A esta fuerza, según el autor Trippler<sup>(22)</sup>, se le llama fuerza recuperadora elástica, enunciándolo de la siguiente manera: “La fuerza elástica está dirigida en sentido opuesto a la deformación sufrida, y es proporcional a la magnitud de dicha deformación”.

Un material elastomérico de uso dental debe exhibir un recobre elástico completo ya que debe de ser la huella fiel y/o negativo de estructuras dentarias y de estructuras adyacentes de la boca de un paciente, y no debe existir ninguna alteración en el modelo de yeso. En un estudio<sup>(14)</sup> realizado referente a los efectos del rango de deformación relacionado al comportamiento de elastómeros para impresión menciona que las propiedades pueden variar dependiendo del tiempo de polimerizado, tiempo en el que el material es retirado de boca, dando por hecho que mientras el material de impresión pueda permanecer un mayor tiempo en boca antes de ser removido, es menos probable que llegue a haber una deformación permanente. Otra variación, es la cantidad de catalizador que se emplea para la polimerización del material ya que desde el punto de vista clínico según Myers<sup>(23)</sup>, es difícil obtener un adecuado tiempo de trabajo. La falta del catalizador da como resultado una polimerización incompleta del material, un tiempo de curado muy largo y frecuentemente una superficie de la impresión pegajosa. En este estudio se

observo la influencia que tiene el silicato de tetraetilo sobre las propiedades de la silicona ya que conforme se fue avanzando en el trabajo de investigación se pudo observar que aun variando la cantidad de cada uno de los reactivos continuaba la cristalización del mismo. De esta manera se decidió separarlos y probarlos cada uno resultando en que la cristalización únicamente se presentaba al mezclar al octoato de estaño (OAE) con el silicato de tetraetilo (TEOS), ya que ambos al estar en contacto con alguno de los otros dos líquidos (OAE con DBL y DBL con TEOS) no cristalizaban aun cuando estuvieran en contacto con el aire por periodos largos de tiempo. En cambio la mezcla de OAE y TEOS cristalizó en un tiempo menor a 5 minutos a una temperatura de 22°C y en un tiempo mayor a 6 minutos a una temperatura de 20°C.

Una vez que se observó que el causante de dicha cristalización era el TEOS, en presencia del OAE, se decidió separar al TEOS de los componentes del catalizador y se agregó a la base de la silicona observándose que aun cuando no se encontraba en el catalizador seguía manteniendo sus propiedades como agente entrecruzante. Dichos resultados (los tiempos de polimerizado y de trabajo) se pueden observar en las Tablas 23 a 33.

Los resultados de la Tabla 23 mostraron una variación en los tiempos de trabajo y polimerizado como: formulación No.10 (0.021) 75s tiempo de trabajo y 20min tiempo de polimerizado y en la formulación No.10 (0.046) 40s tiempo de trabajo y 6min de tiempo de polimerizado; formulación No.11 (0.021) 90s tiempo de trabajo y 20min tiempo de polimerizado y en la formulación No.10 (0.046) 50s tiempo de trabajo y 7min en tiempo de polimerizado; formulación No.12 (0.021) 40s tiempo de trabajo y 6min tiempo de polimerizado y en la formulación No.12 (0.046) 60s tiempo de trabajo y 15min tiempo de polimerizado, por ultimo en la formulación No.13 (0.021) 90s tiempo de trabajo y 15min tiempo de polimerizado y en la formulación 13 (0.046) 90s tiempo de trabajo y 20min tiempo de polimerizado. Debido a estos resultados, como se pudo apreciar la formulación No. 13 mostró los tiempos más altos en el tiempo

de polimerizado aún cuando se aumento la cantidad de catalizador, por lo tanto, se decidió eliminarlo como una posible formulación para el catalizador.

Posteriormente al eliminar el AS del silicón experimental (Tabla 24) se observo un cambio notable en comparación con los resultados de la Tabla 23, que son: formulación No.10 (0.021) y en la formulación No 10 (0.046) disminuyeron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado; en la formulación No.11 (0.021) y en la formulación No.11 (0.046) ambos tiempos disminuyeron; formulación 12 (0.021) aumentaron ambos tiempos y en la formulación No. 12 (0.046) únicamente aumento el tiempo de polimerizado.

Por otro lado, también se realizaron pruebas con el mismo silicón experimental pero con un catalizador que contenía AS en sus componentes, dichos resultados se compararon con los de la Tabla 27, que son: formulación No.10 (0.021) amento el tiempo de trabajo pero permaneció sin cambios el tiempo de polimerizado y en la formulación No 10 (0.046) aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado; en la formulación No.11 (0.021) el tiempo de trabajo permaneció igual pero aumentó el tiempo de polimerizado y en la formulación No.11 (0.046) ambos tiempos aumentaron; formulación 12 (0.021) aumentaron ambos tiempos y en la formulación No.12 (0.046) aumentó el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado.

Sin embargo, de los resultados obtenidos de ambas Tablas (24 y 25) se notó que sí existía una notable disminución tanto en el tiempo de trabajo como en el tiempo de polimerizado al utilizarse cualquiera de las formulaciones.

Posteriormente se agregó 145g de AS no solo en el catalizador sino que también se agregó en el silicón 48 para tratar de elevar el tiempo de trabajo. Tras realizar las pruebas, los siguientes resultados de la Tabla 26 fueron comparados con los resultados de la Tabla 24, los cuales mostraron un aumento en ambos tiempos (trabajo y polimerizado) con las tres formulaciones, excepto en la formulación 12 (0.046) en la que el tiempo de trabajo no tuvo ningún cambio. Al comparar los resultados de la Tabla 27 con los resultados de la Tabla 25 se observo que existió un aumento en el tiempo de polimerizado con todas las formulaciones.

En el tiempo de trabajo se obtuvo que en las formulaciones No.10 (0.021 y 0.046), No.11 (0.021) y No.12 (0.046) no hubo cambios, a diferencia de las formulaciones No.11 (0.046) y No. 12 (0.021) en las que si hubo un aumento en el tiempo de trabajo. Por otra parte, en el tiempo de polimerizado hubo un aumento de tiempo dado por todas las formulaciones.

Una vez que se logró aumentar el tiempo de trabajo se requería disminuir ahora el tiempo de polimerizado a menos de 10 min. sin afectar el tiempo de trabajo. Así que se decidió cambiar la cantidad de TEOS a 0.070g, 0.082g y 0.127g con y sin 0.173g de AS (Tablas 28 a la 33) ya que se piensa, que el TEOS por ser el agente entrecruzante, entre mayor sea la cantidad que se encuentre para reaccionar con el catalizador mas rápida será la polimerización<sup>(16)</sup>. Y se cree que la razón por la que el AS ayuda aumentar ambos tiempos (trabajo y polimerizado) es debido a que actúa como agente diluyente, ya que esta formado por silanoles (moléculas de bajo peso molecular)<sup>(24)</sup> aumentando de esta manera los polímeros a polimerizar. Por lo tanto se pretendía aumentar el tiempo de trabajo debido a la presencia de AS y disminuir el tiempo de polimerización por presencia del TEOS.

Por lo tanto para tratar de comprobar lo anterior se compararon los resultados de las Tablas 28 a la 33 con la Tabla 27. Primeramente se comparó la Tabla 28 con la Tabla 27 obteniéndose lo siguiente: en la formulación No.10 (0.021) tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado disminuyeron y en la formulación 10 (0.046) el tiempo de trabajo disminuyó y el tiempo de polimerizado aumento; en la formulación 11 (0.021) y (0.046) aumento el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado; en la formulación 12 (0.021) disminuyeron notablemente tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado y en la formulación 12 (0.046) disminuyeron ambos tiempos (trabajo y polimerizado).

Posteriormente se compararon las Tablas 29 y 27 de las que se obtuvo que la formulación 10 (0.021) aumento el tiempo de trabajo y disminuyo el tiempo de polimerizado, formulación 10 (0.046) disminuyó el tiempo de trabajo y aumento

el tiempo de polimerizado; formulación 11 (0.021) aumento el tiempo de trabajo y disminuyó el tiempo de polimerizado y la formulación 11 (0.046) aumentaron tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado; formulación 12 (0.021) disminuyeron notablemente tanto el tiempo de trabajo como el tiempo de polimerizado, formulación 12 (0.046) disminuyeron ambos tiempos observando una considerable disminución en el tiempo de polimerizado.

Como se puede observar aún cuando se disminuyó el TEOS a 0.070g hubo una disminución notable en los tiempos de polimerizado pero también una disminución en el tiempo de trabajo, aunque también hubo un ligero aumento en el tiempo de trabajo por parte de las formulaciones No.11 (0.046) y en la formulación No.12 (0.021). Esto pudo haber sucedido debido a que se eliminó el AS. Sin embargo en la Tabla 29 se volvió agregar el AS, demostrando que debido a la presencia de AS aumentaba el tiempo de trabajo aunque también aumentaba el tiempo de polimerizado en algunas de las formulaciones como en la No.10 (0.021) y en la No.11 (0.046).

De la misma manera se comparo a las Tablas 30 y 31 con la tabla 27 dejando ver que debido a que era mayor la cantidad de TEOS el tiempo de trabajo disminuyó en la mayoría de las formulaciones y en el tiempo de polimerizado disminuyó notoriamente en todas las formulaciones. Por su parte la Tabla 32 brindó los resultados de aumento en el tiempo de trabajo en casi todas las formulaciones excepto en las formulaciones 12 (0.021 y 0.046) y una disminución en el tiempo de polimerizado exceptuando a las formulaciones formulación No. 10 (0.021), No.11 (0.046), la formulación 12 (0.021) y la formulación No. 12 (0.046).

Y por último la Tabla 33 también fue comparada con la Tabla 27 en donde da como resultado que en la formulación No. 10 (0.021) disminuyeron ambos tiempos y en la formulación No 10 (0.046) ambos tiempos aumentaron; formulación No.11 (0.021) y en la formulación No.11 (0.046) aumentaron ambos tiempos (tiempo de trabajo y polimerizado); formulación 12 (0.021) y en la formulación No. 12 (0.046) disminuyó en el tiempo de trabajo y considerablemente mas en el tiempo de polimerizado.

De esta manera se cree que para que el TEOS produzca una disminución significativa en el tiempo de polimerizado debe existir una cantidad suficiente de catalizador (octoato de estaño) ya que las formulaciones 10 y 12 tienen una mayor cantidad de octoato que de dibutil dilaurato de estaño.

Algo más que se logró observar, al agregar AS en los componentes del catalizador, es que al parecer su presencia provoca una alteración durante el polimerizado del material o bien en los componentes del catalizador al estar en contacto directo con estos. Por esto mismo se decidió eliminar al AS del catalizador y únicamente tenerlo presente en los componentes de la base de la silicona.

Por último, por medio de la realización de las distintas pruebas se observó que aún cuando el silicato de tetraetilo no se encontraba dentro de los componentes que formulaban al catalizador, sino que se encontraba como un componente más del silicón experimental pesado, no alteraba de manera importante las propiedades físicas y mecánicas del material de impresión ya que se obtuvieron unos valores de: 47s tiempo de mezclado, 1.7s tiempo de trabajo, 1.9% deformación en compresión, 0.35% de máximo % en compresión y buena fidelidad de detalle del silicón experimental pesado. Por su parte el silicón experimental ligero mostró los siguientes valores: 30s tiempo de mezclado, 130s tiempo de trabajo, 15.30% deformación en compresión, 0.20% de máximo % en compresión y buena fidelidad de detalle.

Se puede hacer énfasis en los resultados obtenidos de la prueba de fidelidad de detalle que las líneas a reproducir (70, 50 y 20 micras), tanto por la silicona experimental pesada como con la silicona experimental ligera, tenían una mayor reproducción y nitidez en comparación con la silicona comercial.

Por lo tanto, la silicona experimental pesada si cumple con el tiempo de mezclado, fidelidad de detalle y máximo porcentaje en compresión como lo exige la norma pero no cumple con el tiempo de trabajo requerido y tampoco con lo requerido para la prueba de deformación en compresión. Por lo tanto se propone continuar con la investigación variando la cantidad de relleno en el silicón pesado y la cantidad de TEOS en ambas consistencias.

Por su parte la silicona comercial Zetaplus si cumple con lo requerido para el tiempo de mezclado, y para el máximo porcentaje en compresión pero no así en el tiempo de trabajo ya que su valor promedio fue mayor lo marcado por ADA. Por el contrario, los valores obtenidos en las pruebas de tiempo de trabajo y deformación en compresión quedaron fuera del rango establecido por ADA. De la misma manera, el silicón comercial OrangewashL tampoco cumplió satisfactoriamente con todos los requerimientos de las pruebas ya que no pudo pasar la prueba de tiempo de trabajo.

Por lo consiguiente, sí se cumplió con lo establecido en la hipótesis ya que se logro evitar la cristalización del catalizador.

## 12. CONCLUSIÓN

Por medio del estudio realizado se pudo observar que el silicato de tetraetilo era el responsable de la cristalización del catalizador, siempre y cuando estuviera en contacto con el octoato de estaño y del aire.

De acuerdo a los resultados obtenidos por parte de la silicona experimental y la silicona comercial se llegó a la siguiente conclusión:

Se valoró el silicón experimental de cuerpo pesado y cuerpo ligero de acuerdo a las pruebas físicas: tiempo de mezclado, tiempo de trabajo y fidelidad de detalle; mecánicas: deformación en compresión y máximo % en compresión, obteniendo los valores que se compararon con los valores que dieron los silicones comerciales.

Por último la silicona comercial Oranwash si cumplió satisfactoriamente con los requerimientos de la norma en cada una de las pruebas a las que fue sometido el material de impresión.

Por lo tanto se llegó a la conclusión que el material de impresión experimental cumple con la mayoría de las pruebas requeridas por ADA, resultando que si existe una alteración en las pruebas físicas y mecánicas debido al silicato de tetraetilo (TEOS).

## 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Nahrup, J.P. Poly(dimethylsiloxane) coating for controlled drug release polymer modifications. International Journal of Pharmaceutics 2004; 270:199-208.
2. Barceló H.F., Palma J.M. Materiales Dentales. Conocimientos básicos aplicados. Editorial Trillas. 1ª edición, México, 2003. Pp 179-191.
3. Seymou R., Introducción a la química de los polímeros. Editorial Reverté. 1ª edición, Barcelona, 1995. Pp 1-12, 21-30, 237-247.
4. Ureta E., Polímeros: Estructura, propiedades y aplicaciones. Editorial Limusa Noriega editores. 2ª edición, Mexico, 1996. Pp. 9
5. Macchi R., Materiales dentales. Editorial medica panamericana. 3ª edición, argentina, 2000. Pp 82-96 y 229-235
6. [www.wikipedia.org/wiki](http://www.wikipedia.org/wiki)
7. <http://www.eis.uva.es/-macromol/curso03-04>
8. Areizaga J., Polímeros. Editorial Síntesis. 1ª edición, Madrid, 2000. Pp 17-28, 69-76, 143-153.
9. Salomón C., Joseph. Polymeric Materials Encyclopedia. Vol. 10. Editorial CRC Press, London. (1996) Pp 7663-7676, 7694-7711.
10. Anusavice K.P., La ciencia de los materiales dentales. 11ª ed., México Editorial Interamericana, 2007 Pp. 205-254.
11. García, O.M. Estudio de las cuatro principales propiedades mecánicas de cuatro materiales de impresión de poli dimetil siloxano. Tesina. Facultad de odontología. UNAM 2007 Pp. 9.

12. Finger, W.J. (1987). "Significance of filler content to properties of silicone impression materials". Dental Materials Science. 1987; 4: 33-36.
13. Gerrow J.D. Comparison of the surface detail reproduction of flexible die material systems. J. Prosthet Dent 1998; 80: 485-489
14. Klooster J., Logan I., Tjan A. Effects of strain rate on the behavior of elastomeric impression. J. Prosthet Dent 1991; 66: 292-298.
15. Gomes, S.R. Novel way to control PDMS cross-linking by gamma-irradiation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 2008.03.046, Pp 1-4
16. Chakrabarti, K. y colab. Thermal analysis of poly(dimethylsiloxane)-modified silica xerogels. Materials letters 2002; 57:192-197.
17. Cova N.J., Biomateriales Dentales. 1º ed. Colombia. Editorial AMOLCA, 2004 Pp. 179-191.
18. Anusavice K.P., La Ciencia de los Materiales Dentales. 10ª ed. México Editorial Interamericana, 1996 Pp. 138-142.
19. Guzmán H., Biomateriales odontológicos de uso clínico. Editorial Eco Ediciones. 3ª edición, Colombia, 2003. Pp 114-115, 178-179.
20. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Fichas de Seguridad Química. Ministerio de trabajo y asuntos sociales. España.
21. Especificación Número 19 de la Asociación Dental Americana, Para los Materiales elastoméricos no acuosos. 1997, Pp
22. Tripler, P. Física para la ciencia y tecnología. 4ª ed. México. Editorial Reverté, S.A., 1999 Pp.130-131, 289-95.

23. Myers, G., Peyton A. Estudios clínicos y físicos de materiales de impresión a base de hule de silicón. J. Prosthet Dent 1959, 9: 315-324.
24. García, Sergio. (2006). “La tecnología de los elastómeros RTV (Vulcanización a Temperatura Ambiente) y su aplicación en la escultura”. Revista Iberoamericana de Polímeros. Marzo 2006. vol. 7.