



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E  
INVESTIGACIÓN**

**“Pruebas físicas y caracterización de  
material experimental para uso en  
estereolitografía dental”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
ESPECIALISTA EN MATERIALES DENTALES

P R E S E N T A:

**C. D. KARINA GARCÍA JUÁREZ**

**TUTOR: Mtro. CARLOS ALBERTO MORALES ZAVALA**

CIUDAD DE MÉXICO, CDMX.

2017

# “PRUEBAS FÍSICAS Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL EXPERIMENTAL PARA USO EN ESTEREOLITOGRAFÍA DENTAL”

**\*Karina García Juárez, FO UNAM, § Mtro. Carlos Alberto Morales Zavala, \*\*Carlos Andrés Álvarez Gayosso, \*\*\*Silvia Espinoza Matías.**

## RESUMEN

La estereolitografía es una técnica auxiliar utilizada en tratamientos dentales como prótesis maxilofaciales, patología, cirugía, etc. Anteriormente, este tipo de modelos para prótesis y restauraciones se realizaban mediante el uso de rayos X y resonancia magnética.

El propósito del estudio fue evaluar la influencia de la adición de óxidos metálicos y distintos materiales sobre el tiempo de endurecimiento y las propiedades físicas en un yeso comercial (tipo IV) que se pretende utilizar en una impresora 3D.

Se utilizó óxido de zinc, óxido de silicio, ionómero de vidrio y alginato de sodio. Como líquido aglomerante, poli ácido acrílico (PAA) a concentración 0.25, 0.50, y 2% y 2-pirrolidona al 5, 9 y 17%. Se utilizó yeso comercial con las mezclas de óxidos para realizar el material experimental. El grupo control fue el polvo comercial zp151 usado en estereolitografía dental y solución comercial aglutinante zb63.

Métodos de preparación de muestras indicadas por ADA se utilizaron. Se prepararon muestras para sorción y solubilidad (ADA27), espesor de película (ADA96), tiempo de fraguado (ADA96) y expansión de fraguado (ADA25), para evaluar los valores obtenidos por el grupo control y experimentales para elegir una de las mezclas de PAA ó 2-pirrolidona como representativa para sustituir al material comercial (zp151/zb63). Se realizaron mediciones de pH de todos los polvos y líquidos utilizados en las mezclas. Se realizó caracterización de la partícula mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopía infrarroja (FTIR) para la obtención de la estructura química del polvo y el líquido comercial.

En conclusión la mezcla de PAA no brindó las propiedades requeridas por el material comercial. 2-pirrolidona al 5% mostró los mejores resultados en el tiempo de endurecimiento. La adición de óxidos ( $Zn/SiO_2$ ) al yeso, aceleró el tiempo de endurecimiento ofreciendo uno similar al comercial. Se continúa modificando la formulación para lograr las propiedades similares al producto comercial usando 2-pirrolidona.

\* Cirujana Dentista Alumna de la especialidad de Materiales Dentales, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Odontología. UNAM. CD. México.

§ Coordinación de Especialidad, Laboratorio de Materiales Dentales. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Odontología. UNAM. CD. México.

\*\*Jefe de Laboratorio, Laboratorio de Materiales Dentales. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Odontología. UNAM. CD. México.

\*\*\*Coordinación de Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido. Facultad de Ciencias. UNAM. CD. México.

## **PALABRAS CLAVE**

Sulfato de Calcio, yeso, óxido de silicio, óxido de zinc, Impresión 3D, estereolitografía dental.

## **SUMMARY**

Stereolithography is an auxiliary technique used in dental treatments such as maxillofacial prostheses, pathology, surgery, etc. Previously, this type of models for prostheses and restorations were made through the use of X-rays and magnetic resonance.

The result of the study was the evaluation of the addition of metal oxides and different materials on the setting time and physical properties in commercial gypsum (type IV) that is used in a 3D printer.

Zinc oxide, silicon oxide, glass ionomer and sodium alginate are used. As a binder liquid, poly acrylic acid (PAA) at a concentration of 0.25, 0.50, and 2% and 2-pyrrolidone at 5, 9 and 17%. It was also used with the oxide mixtures to make the experimental material. The control group was commercial powder zp151 used in dental stereolithography and commercial binder solution zb63.

Methods of sample preparation indicated by ADA were used. Samples were prepared for sorption and solubility (ADA27), film thickness (ADA96), setting time (ADA96) and setting expansion (ADA25), to evaluate the values obtained by the control group and experiments to choose one of the mixtures of PAA or 2-pyrrolidone as a representative to replace the commercial material (zp151 / zb63). PH measurements were made of all the powders and liquids used in the mixtures. The characterization of the particle was carried out by scanning electron microscopy (SEM) and infrared spectroscopy (FTIR) to obtain the chemical structure of the powder and commercial liquid.

In conclusion, the PAA mixture did not provide the properties required by the commercial material. 2-pyrrolidone at 5% showed the best results in the setting time. The addition of oxides (Zn / SiO<sub>2</sub>) to the gypsum, accelerated the setting time offering a similar to the commercial one. The formulation is still being modified to achieve properties similar to the commercial product using 2-pyrrolidone.

## **KEY WORDS**

Calcium Sulfate, gypsum, silicon oxide, zinc oxide, 3D Printing, dental stereolithography.

## INTRODUCCIÓN

La estereolitografía es una técnica auxiliar utilizada en tratamientos dentales como prótesis maxilofaciales, patología, cirugía, etc. Anteriormente, los modelos para prótesis y restauraciones se realizaban mediante el uso de rayos X y resonancia magnética. La impresión en 3D es un procedimiento para realización de modelos. Este proceso requiere del uso de dos materiales diferentes: un polvo (yeso, almidón, etc.) y un líquido (un monómero o un polímero soluble) que mediante ciertos mecanismos se ponen en contacto, reaccionan químicamente y producen una capa solidificada. Una vez terminada una capa, se procede a repetir el proceso y continuar hasta que se obtiene la pieza final. Inicialmente era una tecnología para la creación de prototipos en arquitectura e ingeniería. Ahora numerosos fabricantes están produciendo componentes de uso final y productos completos a través de la fabricación para la industria aeroespacial, modelización e implantación médica. Estudios preliminares J. Barrera (1) mostraron que el polvo de estereolitografía es un compuesto a base de azufre, calcio y oxígeno; y el líquido contiene carbono, oxígeno e hidrógeno con un pH alcalino. Esto sugirió que el yeso dental es un buen sustituto del polvo y un polímero soluble en agua, un sustituto del líquido. El propósito del estudio fue evaluar la influencia de la adición de óxidos y monómeros y polímeros solubles en agua adicionados a un yeso tipo IV para obtener tiempo de fraguado, sorción y solubilidad, espesor de película, expansión de fraguado y presentarlo como una alternativa a sustituir al polvo y líquido comercial de una impresora 3D.

## MARCO TEÓRICO

### ***Sistema Autocurable***

Una impresora 3D incorpora elementos tanto de la impresión 2D en inyección de tinta como del proceso de estereolitografía. Básicamente, las boquillas de inyección del líquido rocían una resina sobre una capa de espesor controlado de polvo, reaccionan químicamente y producen una capa solidificada. Una vez terminada la capa, se procede a repetir el proceso y continuar hasta que se obtiene la pieza final. Los polvos empleados en éstas máquinas en general tienen la misma composición, solo varía el porcentaje de sulfato de calcio, agregados de polímero de vinilo y carbohidratos en algunos casos (2) (3).

### ***Sistema Fotocurable***

A diferencia de los sistemas autocurables, aquí se utiliza una resina fotosensible que se vierte en un contenedor e inmediatamente que inicia el proceso de impresión una fuente de luz UV incide en el material curándolo rápidamente antes de que la siguiente capa a imprimir sea proyectada en la placa. El proceso se repite hasta que se fabrica un objeto entero. (4) (5)

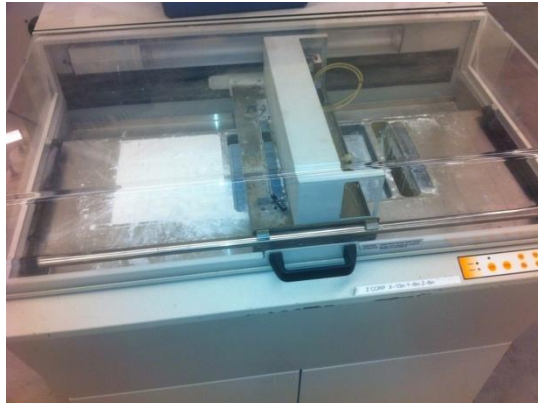


Imagen 1. Impresión con base en yeso

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El material que emplea el estereolitógrafo posee propiedades y composición similares al yeso, por ello se pretende imitarlo para lograr utilizarlo en la misma impresora. Que sea de fácil síntesis en laboratorio y que pueda reciclarse para evitar el desperdicio de material.

## **JUSTIFICACIÓN**

Se realizaron pruebas físicas a un material para evaluar si presentaba las mismas características que el material comercial utilizado en el estereolitógrafo (zp151). Se propone un yeso comercial (tipo IV) mezclado con diversos materiales (óxido de zinc, óxido de silicio, alginato de sodio, tierra de diatomeas, ionómero de vidrio). La mezcla de un líquido a base de polímero o un monómero solubles en agua. El éxito se basa en obtener un tiempo de endurecimiento lo más cercano posible al tiempo del polvo comercial.

## **OBJETIVO GENERAL**

Ya que el polvo (zp151) de la impresora 3D está formado a base de Sulfato de Calcio, se pretende desarrollar uno con las mismas características empleando como polvo yeso dental tipo IV y el líquido (zb 63) sustituirlo con una mezcla de Poli ácido acrílico (PAA) y agua ó una mezcla a base de 2-pirrolidona (6) y agua.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Caracterizar la relación polvo-líquido comercial para obtener tiempo de endurecimiento, espesor de película, expansión de fraguado y sorción y solubilidad.

- Obtener la relación polvo-líquido de una mezcla PAA-agua que permita obtener el tiempo de endurecimiento igual o cercano al polvo-líquido comercial.
- Obtener las propiedades de la mezcla PAA-agua-yeso, de espesor de película, expansión de fraguado y sorción y solubilidad una vez obtenido el tiempo de endurecimiento igual o cercano al producto comercial.
- Obtener la relación polvo-líquido de una mezcla 2-pirrolidona-agua que permita obtener el tiempo de endurecimiento igual o cercano al polvo-líquido comercial.
- Obtener las propiedades de la mezcla 2-pirrolidona-agua-yeso, de espesor de película, expansión de fraguado y sorción y solubilidad una vez obtenido el tiempo de endurecimiento igual o cercano al producto comercial.
- Caracterizar el material analizando la composición del líquido y polvo mediante FTIR y MEB.

## HIPÓTESIS

El material a base de Sulfato de Calcio combinado con líquido a base de PAA o 2-pirrolidona disminuirá el tiempo de endurecimiento a una mayor concentración.

## MATERIALES Y MÉTODO

Se utilizaron métodos de preparación de muestras indicadas por la American Dental Association (ADA) para preparar especímenes y determinar la sorción y solubilidad (ADA27), espesor de película (ADA96), tiempo de endurecimiento (ADA96) y expansión de fraguado (ADA25); la preparación de muestras se realizó a temperatura controlada de  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Se utilizó microscopía electrónica de barrido (MEB) para caracterización de partícula y espectroscopia infrarroja (FTIR) para la obtención de su estructura química.

### Preparación de muestras

Se prepararon mezclas conforme a la Tabla 1 empleando yeso tipo IV, óxido de silicio, óxido de zinc, ionómero de vidrio y alginato de sodio que fueron mezclados con poli(ácido acrílico). La preparación del líquido soluble en agua empleando 2-pirrolidona se hizo conforme a la Tabla 2 y Tabla 1 (0.75 g de yeso tipo IV y 0.22 g de líquido) en las 3 mezclas (5, 9 y 17%) como lo indica la Tabla 1. El grupo control fue una mezcla de polvo comercial para estereolitografía (zp151) y líquido aglutinante comercial (zb63) en proporción 1:3 en peso.

Tabla 1. Componentes de las mezclas en gramos

	Mezclas								
	zp151	zb63	Yeso	PAA	2-pirrolidona	SiO <sub>2</sub>	ZnO	Ionómero vidrio	Alginato sodio
<b>Control</b>	0.96	0.22							
<b>1</b>			0.087	0.25		0.045			
<b>2</b>			0.481	0.25			0.480		
<b>3</b>			95	0.50		5.000			
<b>4</b>			50	2.00			50		

5			0.750		(5%) 0.22				
6			0.750		(9%) 0.22				
7			0.750		(17%) 0.22				
8			0.870	2.00				0.090	
9			0.870	0.25					0.090

Tabla 2. Componentes de las mezclas en mL

	5%	9%	17%
<b>Agua desionizada</b>	10.0	10.0	10.0
<b>2-pirrolidona</b>	0.5	1.0	2.0

### Tiempo de Endurecimiento

La mezcla se colocó en un molde de 10 x 8 x 2 mm y se utilizó una aguja indentadora de  $400 \pm 5$  g de masa y  $1.0 \pm 0.1$  mm de diámetro ambientados en una cámara de temperatura y humedad controlada a ( $37 \pm 1^\circ\text{C}$  y 90% de Humedad) (PolyScience modelo WD20A11B, USA). Se realizaron indentaciones cada 30 segundos después de 10 minutos del inicio del mezclado como lo marca la norma 96ADA. El tiempo de endurecimiento se registró en segundos cuando la aguja no dejó marca alguna sobre la superficie del material, Foto 1.

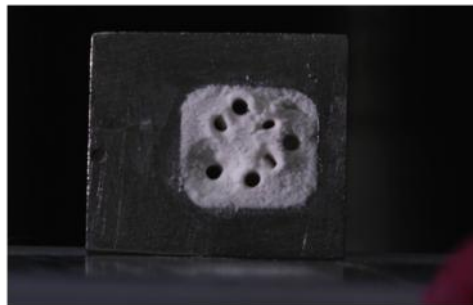


Foto 1. Muestra para determinar el tiempo de endurecimiento

### Sorción y Solubilidad

Se prepararon muestras circulares de acuerdo al procedimiento de la norma 27 ADA de 15 mm de diámetro y grosor entre 0.6 mm y 0.7 mm (Foto 2). Se esperó a que transcurriera el tiempo de endurecimiento y se retiraron para ser medidos, pesados y almacenados de acuerdo al procedimiento de preparación de muestras de la norma para obtener la masa inicial y final y calcular la ganancia de agua y pérdida de material. Se analizaron Control zp151+zb63 (n=20).

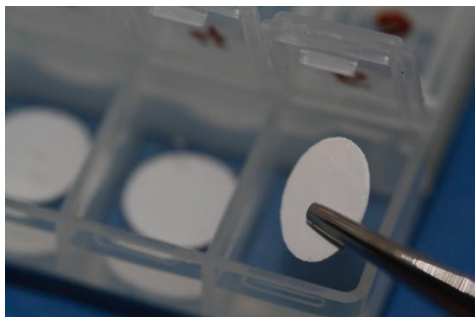


Foto 2. Muestras de sorción y solubilidad

### **Espesor de película**

Únicamente se realizó en el Grupo control para establecerlo como valor de referencia antes de obtener las mezclas que ofrezcan las mejores propiedades para imitarlo ( $n=10$ ). Se prepararon mezclas conforme a la Tabla 1 utilizando la metodología marcada por la norma 96ADA; se realizaron 10 mediciones de espesor colocando el material entre 2 placas de vidrio, con una carga de 15 kg (150 N). Se procedió a medir el espesor del conjunto vidrio-material-vidrio y fue restado al valor del espesor vidrio-vidrio (Foto 3).

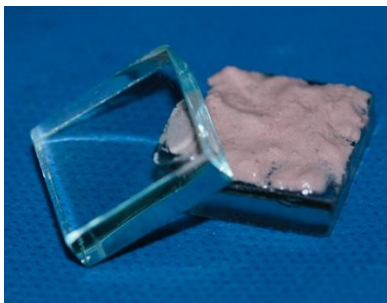


Foto 3. Vidrios y material para determinar el espesor de película

### **Expansión de fraguado**

Se prepararon muestras utilizando la metodología marcada por la norma 25ADA haciendo una modificación a la longitud del surco de colocación del material de 100 mm a 60 mm. Para reducir la cantidad de material debido a su alto costo. La proporción utilizada fue 60 g de polvo y 24 g de líquido. La expansión del material se comenzó a medir desde el tiempo 0 hasta el comienzo del primer desplazamiento en el minuto 4:30 y se fueron registrando cada 30 segundos durante 1 hora (Foto 4); cada 10 min hasta cumplir 2 horas y cada 30 min hasta cumplir 4 horas.



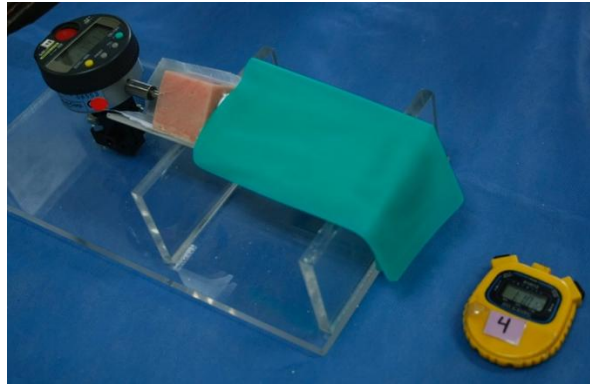


Foto 4. Instrumento de medición para expansión de fraguado

### **Mediciones de pH**

Se realizaron mediciones de pH utilizando un potenciómetro (Oakton, modelo 261756, Singapur) en donde se colocaron 100 mL de agua desionizada y se disolvieron 0.5 g de cada uno de los polvos por separado. A excepción del óxido de silicio que se realizó en alcohol isopropílico ya que no se lograba disolver en agua.

### **Espectroscopia infrarrojo**

Se realizó análisis de espectroscopia infrarroja (Perkin-Elmer, modelo Paragon 500, USA) para comparar las bandas de yeso con las bandas del polvo del grupo control y determinar las bandas del líquido del grupo control para compararlo con la mezcla que presente las propiedades similares experimentales.

### **Microscopia electrónica de barrido**

Con el fin de caracterizar la partícula y valorar si la partícula obtenida de las mezclas era similar se tomaron distintas imágenes usando un microscopio electrónico de barrido (Jeol, Modelo JSM-5310LV, Japón). Se observaron el tamaño de partícula, la morfología y la interacción entre partículas.

### **Análisis Estadístico**

Los valores obtenidos de tiempo de endurecimiento, sorción y solubilidad, espesor de película y expansión de fraguado se analizaron mediante estadística básica: promedio y desviación estándar.

## RESULTADOS

Se presentan los resultados del grupo control (zp151 y zb63) usados en el estereolitógrafo.

**Tabla 3. Resultados del Grupo Control**

### Tiempo de Endurecimiento

- $636 \pm 40$ s

### Expansión al Fraguado:

- 0.91% Grupo control / 0.13% Yeso tipo IV (7)

### Espesor de película

- $224 \pm 107$   $\mu$ m

### Sorción y solubilidad

- Sorción  $406 \pm 53$   $\mu$ g/mm<sup>3</sup>
- Solubilidad  $62 \pm 28$   $\mu$ g/mm<sup>3</sup>

A continuación se muestran los resultados de las mezclas experimentales conforme a la Tabla 1.

Ya que el tiempo de endurecimiento es clave para la aceptación de materiales, el objetivo principal es que la mezcla brinde el tiempo y las mismas propiedades que el grupo control; además de que pueda reproducirse varias veces con el mismo resultado para alcanzar los objetivos principales de caracterización del material.

### Tiempo de endurecimiento

Los resultados de Tiempo de endurecimiento de las mezclas empleando yeso tipo IV, óxido de silicio, óxido de zinc, ionómero de vidrio y alginato de sodio que fueron mezclados con poli(ácido acrílico); así como las mezclas empleando 2-pirrolidona con yeso tipo IV y la mezcla 2-pirrolidona-agua se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Tiempo de endurecimiento de mezclas comparadas con el Grupo Control.

Grupo Control (PE + LE)	$636 \pm 40$ s
Yeso + SiO <sub>2</sub> : PAA 95% 5% 0.5%	$443 \pm 8$ s
Yeso + ZnO : PAA 50% 50% 2%	$552 \pm 10$ s
5 % 2-Pirrolidona + 100% Yeso	$619 \pm 33$ s
9% 2-Pirrolidona + 100% Yeso	$650 \pm 62$ s
17% 2-Pirrolidona + 100% Yeso	$910 \pm 46$ s
El ionómero de vidrio y el alginato de sodio mostraron valores mayores a 1100 s.	

## Acidez de las disoluciones

La Tabla 5 refiere los valores de acidez (pH) de las diferentes mezclas de yeso, óxidos ensayados y líquidos empleados. El primer valor que se muestra es del pH del líquido y el segundo valor denota el cambio de pH al ser agregado el polvo.

Tabla 5. Resultados de pH de las diferentes disoluciones.

#	Disolución con agua desionizada										Isopropanol		LE	2 PIRROLIDONA			PAA		
	PE		PE2		YESO		IV		ZnO		SiO <sub>2</sub>			5%	9%	17%	0.25%	0.50%	2%
1	5.45	4.12	5.38	6.07	5.26	7.32	5.59	3.18	5.37	7.28	8.84	7.86	9.50	6	5.8	4.84	3.77	3.85	3.55
2	5.42	4.11	5.35	6.09	5.22	7.29	5.61	3.19	5.28	7.23	8.85	7.87	9.52	6.04	5.87	4.84			
3	5.47	4.11	5.31	6.11	5.20	7.31	5.41	3.17	5.26	7.25	8.86	7.88	9.54	6.05	5.86	4.84			
PROMEDIO	5.45	4.11	5.35	6.09	5.23	7.31	5.54	3.18	5.30	7.25	8.85	7.87	9.52	6.03	5.84	4.84			
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.03	0.01	0.04	0.02	0.03	0.02	0.11	0.01	0.06	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.00			

## Mezclas con PAA

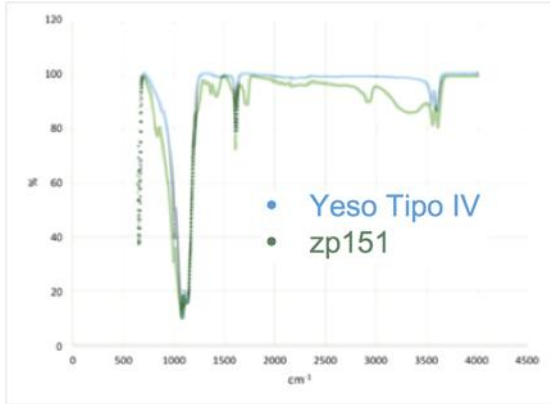
Debido a que las mezclas de PAA no presentaron las características de consistencia y apariencia similares al material original ya que al ser mezcladas no se integraba por completo el yeso con el líquido, No se presentan resultados de expansión, sorción y solubilidad y espesor de película. Se observaba el exceso del líquido y algunas se fracturaban al ser indentadas posterior al fraguado,

## Mezclas con 2- pirrolidona

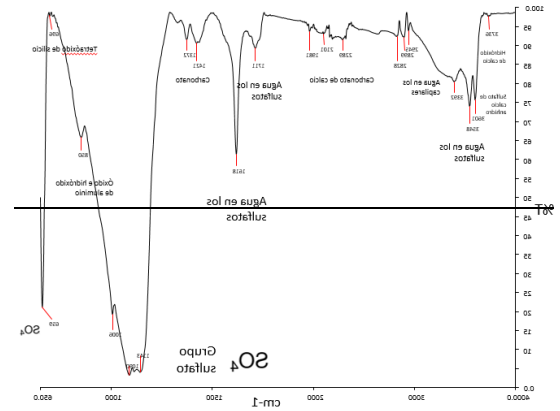
La segunda parte del diseño experimental consiste en preparar las muestras yeso-2-pirrolidona para evaluar el comportamiento de expansión de fraguado, sorción y solubilidad y espesor de película. Se experimentará con los 3 porcentajes enunciados en la Tabla 1.

## Espectroscopía Infraroja

Se realizó un análisis de espectroscopia de infrarrojo para comparar el yeso con el polvo del grupo control e identificar similitudes o diferencias entre ellos (Gráfica 1 y 2) y se analizó el líquido para ver de que estaba compuesto (Gráfica 3).



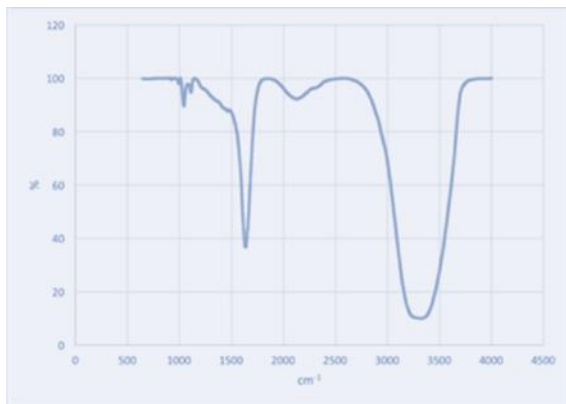
Gráfica 1. Espectro IR de Yeso y zp151



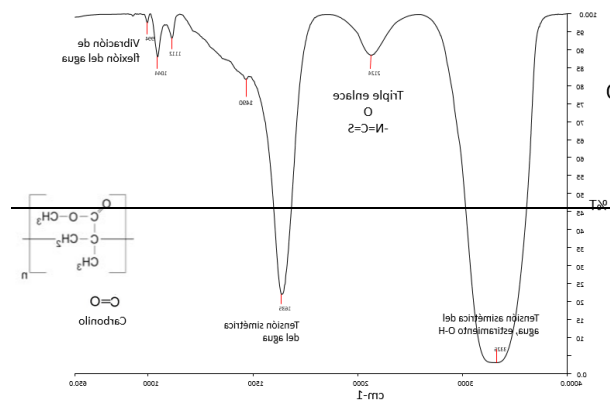
Gráfica 2. IR zp151 (1)

Como se observa en la Gráfica 1, el Yeso y el polvo original tienen básicamente las mismas bandas de absorción. Se obtuvo el mismo infrarrojo y se encontraron similitudes con sulfato de calcio y el polvo comercial de J. Barrera (1).

En cuanto al líquido también se analizó (Gráfica 3) en comparación con el estudio de J. Barrera (1) y se encontraron las mismas bandas (Gráfica 4).



Gráfica 3. Espectro IR zb63



Gráfica 4. IR (1)

A comparación del patrón obtenido anteriormente en las gráficas del estudio de J. Barrera (1) la composición del líquido es similar en la Gráfica 2, lo cual muestra que es el mismo empleado en ese estudio.

## MICROGRAFÍAS

Las partículas de Yeso tipo IV y zp151 son similares en cuanto a morfología pero su tamaño y disposición son diferentes.

Se puede notar que el tamaño de partícula del yeso comercial tiene un tamaño aproximado de 6 a 7  $\mu\text{m}$  de grosor y 25 a 30  $\mu\text{m}$  de largo (Fig. 1); los cristales son más delgados, largos y contienen mayor cantidad de partículas pequeñas del mismo material que los rodean.

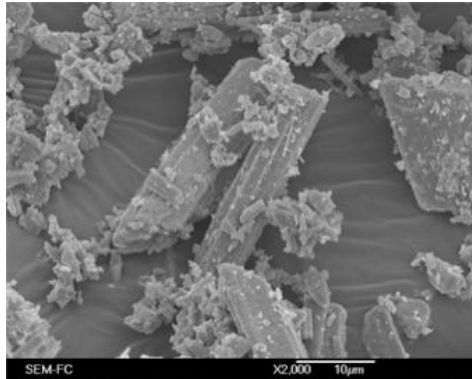


Fig.1 Micrografía del yeso comercial

En el grupo control (Fig. 2) se nota que el tamaño del cristal de yeso es de 20 a 25  $\mu\text{m}$  de grosor y 37 a 40  $\mu\text{m}$  de largo. Se observa una ligera forma hexagonal con longitud de 20  $\mu\text{m}$  de arista a arista.

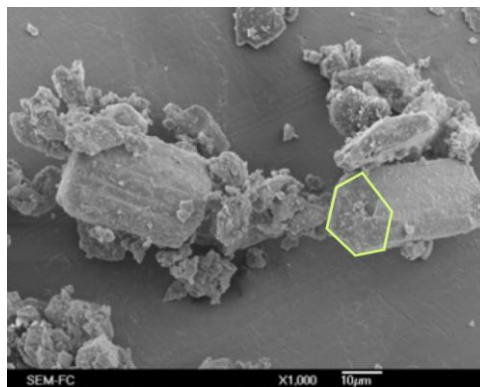


Fig. 2 Micrografía de Grupo control (zp151 / Polvo del Estereolitógrafo)

En la Fig. 3 se observa un cristal de yeso (flecha) que presenta morfología hexagonal (30  $\mu\text{m}$  de arista a arista).

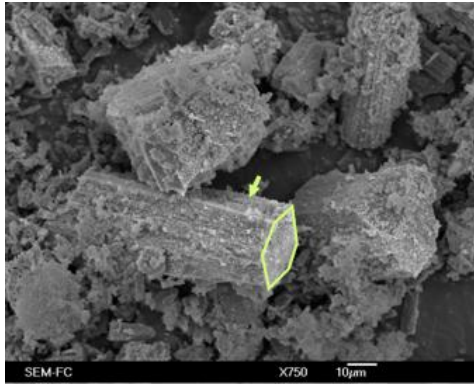


Fig. 3 Cristal de Yeso forma hexagonal

En la Fig. 4 se observa un cristal de 20 µm de grosor cubierto con acumulaciones de nanopartículas de Óxido de Silicio que miden de 1-2 µm y se encuentran adheridas en su superficie y posteriormente se conforman en una matriz (Fig. 5 flechas).

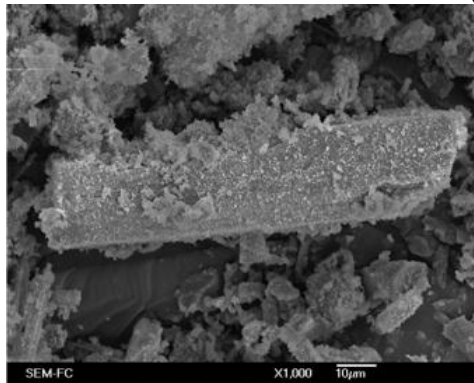


Fig. 4 Acercamiento de un cristal con partículas de polvo de  $\text{SiO}_2$  adherido a su superficie

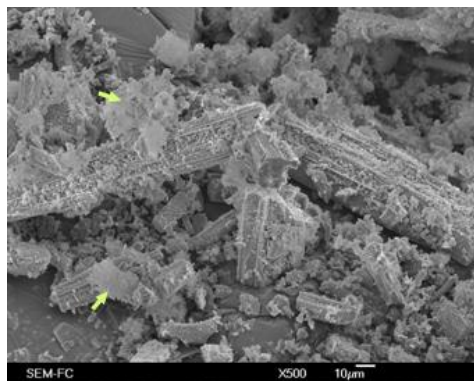


Fig. 5 Se muestra una matriz lisa de  $\text{SiO}_2$  (flechas)

En la Figura 6 se observan acumulaciones de partícula de 2-3 µm de óxido de zinc que se aglutinan alrededor de los cristales de yeso, recubriéndolos y formando masas amorfas al igual que en la Figura 7.

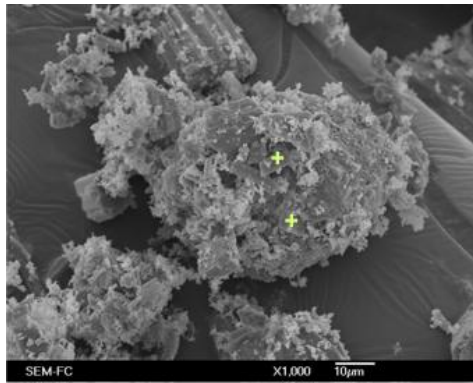


Fig. 6 Observe las partículas de yeso (+) envolviendo a las de ZnO

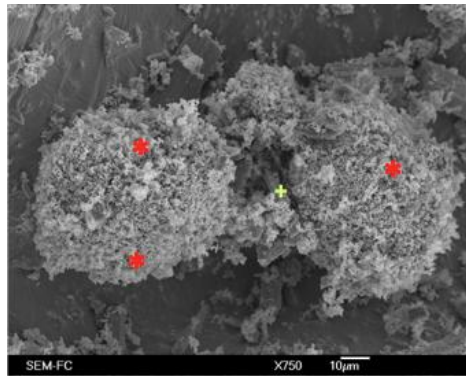


Fig. 7 Esferas de Yeso(+) y ZnO(\*)

Partículas de ZnO de 1 a 2 µm se observan rodeando un cristal de yeso de 5 x 15µm (Fig. 8).

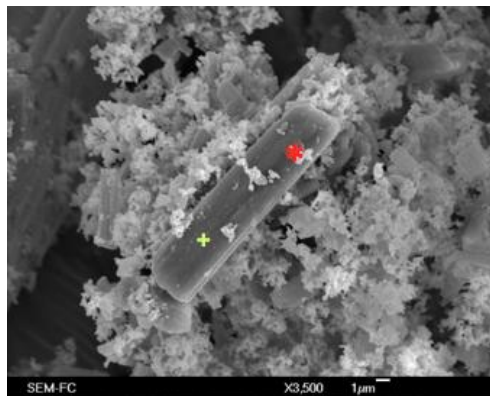


Fig. 8 Cristal de yeso (+), con partículas de ZnO (\*)

En las Figura 9 se observa la diferencia de la conformación de los cristales de yeso de zp151 al reaccionar con zb63 y formar una especie de red en la cual los cristales de yeso se juntan unos con otros debido a la presencia del otro material.

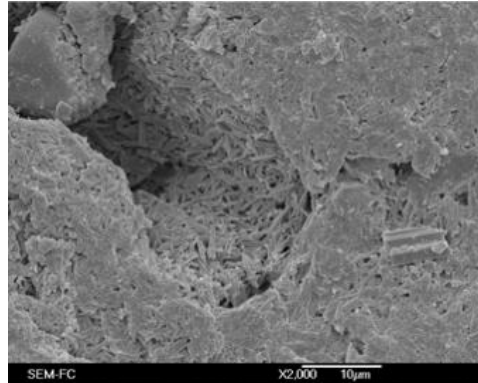


Fig. 9 Mezcla zp151- zb63

Las figuras 10, 11 y 12 muestran esta misma conformación de los cristales en las mezclas de 2-pirrolidona a las 3 distintas concentraciones que se realizaron con Yeso tipo IV.

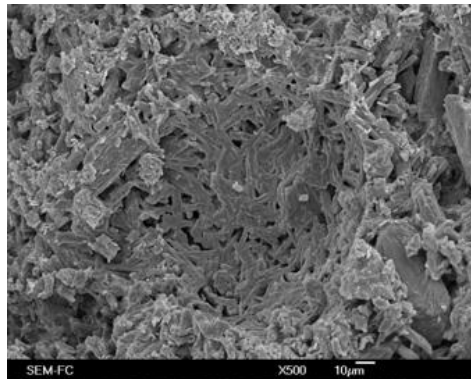


Fig. 10 Mezcla de 2-pirrolidona al 5%.  
Se observa la huella que dejó una burbuja de aire

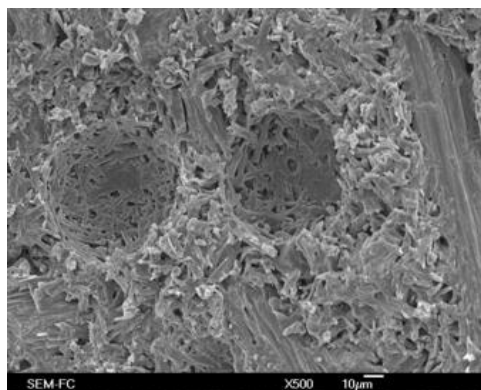




Fig. 11 Mezcla de 2-pirrolidona al 9%

En la micrografía Fig. 12 se observa una capa que envuelve a los cristales de yeso que en comparación con las otras mezclas, no se distingue (Figs. 10 y 11). Pero el acomodo de los cristales tiene el mismo comportamiento al igual que en el grupo control (Fig. 9).

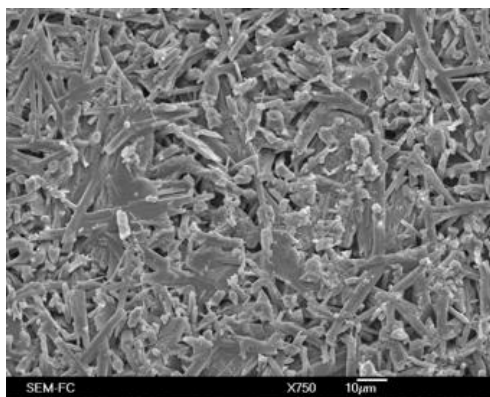


Fig. 12 Mezcla de 2-pirrolidona al 17%

## DISCUSIÓN

En éste estudio se obtuvieron diferentes tiempos de endurecimiento no cercanos al tiempo del producto comercial con PAA . Por lo cual se decidió utilizar otro tipo de polímero soluble en agua (2-pirrolidona) de distintas características que pudiera ofrecer la disminución del tiempo de endurecimiento y disminuir la fragilidad de las muestras al ser indentadas.

Con este antecedente se tomó la decisión de estudiar más a fondo la composición y evaluar el tipo de reacción que se generaba al hacer la mezcla del polvo zp151 con el líquido zb63. Por lo cual se midió el pH del líquido comercial zb63 para corroborar si las mezclas con 2-pirrolidona presentaban un valor similar.

El polvo zp151 al cual se midió pH disuelto en agua, presentó un valor de 5.45 (agua) que disminuyó a 4.11 al colocar el polvo debido a que presentaba una mayor acidez (Tabla 5). Y en el yeso comercial aumentó el valor de 5.23 a 7.31 debido a la mayor alcalinidad del yeso provocando que el valor en disolución aumentara el pH del agua.

Por ejemplo, si se realizara una mezcla basada en Yeso (pH 7.31) y Ionómero de Vidrio (pH 3.18) disminuiría el valor y posiblemente podría ofrecer uno cercano al del polvo zp151 (pH 4.11).

De acuerdo a R. Silva (8) el cuál menciona que el yeso tiene pH 6.98 y López (9) menciona que al contacto con el medio celular estimula la remineralización ósea para ser utilizado como injerto. Los restos del material empleado en el estereolitógrafo podrían ser reciclados para poder posteriormente convertirlos en hidroxiapatita así que según M.A. Goldberg (10) la utilización de estos yesos como materiales reciclados y otros yesos para poder emplearse como injertos óseos a base de hidroxiapatita elaborada por medio de tratamiento e inmersión en soluciones como en el estudio de L.Rungnapa (11), NCBI hydroxy (12), NCBI (13) y tratamientos de temperatura, es de gran importancia por las propiedades mencionadas por López (9), propiciando la regeneración ósea y brindando mejores resultados al paciente en cuanto a osteointegración.

## **CONCLUSIONES**

La adición de óxidos ( $Zn/SiO_2$ ) al yeso aceleró el tiempo de endurecimiento ofreciendo uno similar al comercial. Pero la mezcla de PAA no brindó las propiedades requeridas por el material en comparación con el comercial.

2-pirrolidona al 5% muestra los mejores resultados en el tiempo de fraguado, pero la consistencia posterior al fraguado no es la misma que el material original reaccionado (zp151). Se continúa modificando la formulación para lograr las propiedades similares al producto comercial.

## **AGRADECIMIENTOS**

En especial quiero agradecer a mi familia por el apoyo de la vida y por toda la especialidad. A la Dra. Silvia Espinosa por la disposición a realizar las sesiones de microscopía. A mis tutores por el apoyo a este proyecto. Al Dr René Jiménez Castillo y los doctores del área de Prótesis Maxilofacial que me apoyaron y me orientaron respecto al uso y funcionamiento del estereolitógrafo. Y mis amigos, colegas y maestros que me atesoraron y me dieron buenas ideas y momentos inolvidables.

## **Bibliografía**

1. J. Barrera\* CAMCA. New Calcium Sulphate Powder-Binder System for 3D Printing. Abstracts of the Academy of Dental Materials Annual Meeting. 2016 October 12-15; Volume 32(Supplement 1).
2. La gran época. [Online]. [cited 2017 Enero. Available from: HYPERLINK "L:\\con cartula\\Words\\1. <http://www.lagranepoca.com\\archivo\\32145-creador-impresion-3->

- d-habla-del-pasado-futuro-presente-su-invento.html" 1.  
<http://www.lagranepoca.com/archivo/32145-creador-impresion-3-d-habla-del-pasado-futuro-presente-su-invento.html> .
3. 3D Print.com. [Online]. [cited 2017 Septiembre 06. Available from: HYPERLINK "<https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>" <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/> .
  4. 3D olo. [Online]. Available from: HYPERLINK "<https://www.kickstarter.com/projects/olo3d/olo-the-first-ever-smartphone-3d-printer?lang=es>" <https://www.kickstarter.com/projects/olo3d/olo-the-first-ever-smartphone-3d-printer?lang=es> .
  5. NASA. [Online].; 2017. Available from: HYPERLINK "[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/experiments/1115.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/1115.html)" [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/experiments/1115.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/1115.html) .
  6. G. Brunello a SSaRMbLFcCGcAPdBZcEBa. Powder-based 3D printing for bone tissue engineering. *Biotechnology Advances*. 2016; 34: p. 740-753.
  7. MDC Yeso. [Online]. [cited 2017 Septiembre 6. Available from: HYPERLINK "L:\\con cartula\\Words\\1. [https://www.dental.com.mx/productos.php?lang=es&id\\_producto=75&cat=10](https://www.dental.com.mx/productos.php?lang=es&id_producto=75&cat=10)" 1. [https://www.dental.com.mx/productos.php?lang=es&id\\_producto=75&cat=10](https://www.dental.com.mx/productos.php?lang=es&id_producto=75&cat=10) .
  8. R. Silva JGM. Evaluación Técnica del sulfato de calcio anhidro como carga en la fabricación de papeles. Santiago; 2017 [Pags 43-52].
  9. J. López AM. Revisión Bibliográfica "Sulfato de calcio: propiedades y aplicaciones clínicas". *Revista Clínica Periodoncia Implantología Rehabilitación Oral*. 2011; 4(3): p. 138-143.
  10. M. A. Goldberg ASFNPAYFLISVSAVPaCMotRSMB. "Gypsum Transformation to Calcium Phosphates". *DOKLADY CHEMISTRY*. ; 444 part 1(1).
  11. L. Rungnapa 1TSJTYSSMKI. "Transformation of 3DP Gypsum Model to HA by Treating in Ammonium Phosphate Solution". *Journal of Biomedical Materials Research*. ; Part B: Applied Biomaterials.
  12. NCBI hidroxy. [Online]. [cited 2017 Enero. Available from: HYPERLINK "L:\\con cartula\\Words\\1. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17481330>" \\ "Characterization of hydroxyapatite by electron microscopy." 1. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17481330#> Characterization of hydroxyapatite by electron microscopy.
  13. NCBI. [Online].; 2017. Available from: HYPERLINK "L:\\con cartula\\Words\\1. 2. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15348665> Synthesis of porous hydroxyapatites by combination of gelcasting and foams burn out methods" 1. 2. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15348665> Synthesis of porous hydroxyapatites by combination of gelcasting and foams burn out methods.

