

**DIFERENCIA EN PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL YESO  
PIEDRA TIPO III Y YESO PIEDRA MEJORADO TIPO IV DE USO  
ODONTOLÓGICO, AL MEZCLAR CON AGUA DESTILADA O  
AGUA DE CAÑERÍA.**

Tesis Presentada por:

**JOSEMANUEL TRUJILLO SOLARES**

Ante el tribunal Examinador de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que presidió el acto de graduación, previo a optar al título de:

**CIRUJANO DENTISTA**

Guatemala, julio 2018

## **JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGIA**

Decano:	Dr. Edgar Guillermo Barreda Muralles
Vocal Primero:	Dr. Edwin Oswaldo López Díaz
Vocal Segundo:	Dr. Henry Giovanni Cheesman Mazariegos
Vocal Tercero:	Dr. José Rodolfo Cáceres Grajeda
Vocal Cuarta:	Br. Luis José Morazán Girón
Vocal Quinto:	Br. Rony Esmeltzer Ramos Paíz
Secretario Académico:	Dr. Julio Rolando Pineda Cordón

## **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PÚBLICO**

Decano:	Dr. Edgar Guillermo Barreda Muralles
Vocal Primero:	Dr. Edwin Oswaldo López Díaz
Vocal Segunda:	Dr. Jorge Orlando Ávila Morales
Vocal Tercero:	Dra. Carmen Alicia Morales Castañeda
Secretario Académico:	Dr. Julio Rolando Pineda Cordón

## **ACTO QUE DEDICO**

- A DIOS:** Porque es mi padre, por su paciencia, amarme incondicionalmente y guiarme en su camino. Porque me ha abierto puertas que me han permitido llegar hasta donde estoy ahora. Por darme fuerzas y no dejar que desfallezca. Gracias por todo Papá Dios.
- A MI FAMILIA** Mi madre, mi tía, y mis hermanos por apoyarme de manera incondicional. Mi familia es la razón que Dios me dio para luchar y soñar.
- A MIS AMIGOS** Dr. Pedro Pablo Arroyave, Dra. Mildred Mira, Dra. Katherine Soto, Jaqueline Orantes, Dra. María Fernanda Soto, Max Castillo, Ana Lucía Lechuga, Cindy Mazariegos, y a todos mis demás amigos por apoyarme cada uno a su manera y hacer de esta etapa inolvidable.
- Al Dr. Fernando Argueta** Por su valiosa amistad, consejos y apoyo ante cualquier situación que surgiera en el programa de EPS.
- A la Dra. Carmen Morales** Por su valiosa amistad, apoyo y consejos tanto en la clínica como en la asesoría en la realización de esta tesis.
- A la Facultad de Odontología** Por brindarme las herramientas que me formaron como odontólogo y me ayudaran a trabajar por mis sueños y por mi país.
- A Ministerios de Agua Viva** Por darme la oportunidad de llevar a cabo el programa de EPS y brindar su apoyo en el mismo.

## **TESIS QUE DEDICO**

**A DIOS:**

Por ayudarme a realizar con éxito esta tesis.

**A MI HERMANA Y MI  
MADRE:**

Por motivarme y apoyarme en todo lo que fue posible.

**A LA DRA CARMEN  
MORALES:**

Por brindarme su apoyo en todo este proceso, por su paciencia y por su asesoría.

**AL DR. EDWIN LÓPEZ:**

Por brindar el tema de tesis, así como también su apoyo.

**A MI COMPAÑERO DE  
TESIS:**

Dr. Pedro Pablo Arroyave por compartir todo el tiempo y esfuerzo que conllevó el realizar la tesis presente.

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Tengo el honor de someter a su consideración mi trabajo de tesis titulado: **“Diferencia en propiedades físico-mecánicas del Yeso Piedra Tipo III y Yeso Piedra Mejorado Tipo IV de uso odontológico, al mezclar con agua destilada o agua de cañería”**, conforme la demandan los estatutos de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo a optar al título de:

## **CIRUJANO DENTISTA**

Y a ustedes miembros del Honorable Tribunal Examinador, acepten las muestras de mi más alta estima y respeto.

## Índice

I. Sumario .....	1
II. Introducción .....	3
III. Antecedentes.....	4
IV. Planteamiento del Problema.....	5
V. Justificación .....	6
VI. Revisión de la Literatura .....	7
6.1 El Yeso.....	7
6.2 Especificaciones ADA .....	9
6.3 Tipos de hemihidrato de calcio .....	9
6.4 Composición .....	10
6.4.1 Yeso de París (Hemidrato beta) .....	10
6.4.2 Yeso Piedra (hemidrato alfa).....	10
6.4.3 Yeso Piedra Mejorado (modificación de hemidrato alfa) .....	11
6.5 Reacciones de fraguado del Yeso .....	12
6.6 Relación y proporciones agua/polvo (A/P).....	13
6.8 Manipulación del yeso .....	17
6.8.1 Incorporación del polvo al agua.....	18
6.8.2 Mezcla.....	18
6.8.3 Retardadores y aceleradores del yeso.....	18
6.8.4 Cambios dimensionales.....	19
6.9 Propiedades físico mecánicas .....	19
6.10 El Agua y su contenido mineral.....	26
6.11 Clasificación del agua.....	31
VII. Objetivos .....	39
VIII. Hipótesis .....	40
IX. Variables.....	40
X. Metodología.....	41
XI. Recursos .....	47
XII. Resultados .....	48
12.1 Presentación de Resultados.....	48
12.2 Discusión de Resultados .....	52

XIII. Conclusiones.....	57
XIV. Recomendaciones.....	58
XV. Limitaciones.....	59
XVI. Bibliografía.....	60
XVII. Anexos.....	63

## **I. Sumario**

Se realizó un estudio experimental, correlacional transversal y prospectivo de alcance descriptivo (23) el cual consistió en el análisis de cilindros de dos tipos de yeso vaciados con dos tipos distintos de agua.

Debido a que fue un estudio piloto, se utilizó una muestra no probabilística por conveniencia de 60 cilindros de yeso.

Se elaboraron 30 cilindros de Yeso Piedra tipo III y 30 cilindros de Yeso Piedra Mejorado Tipo IV. Se utilizó una marca de yeso certificada (Zhermack) con instrucciones de fabricante, para ambos tipos de yeso.

De la muestra, 15 cilindros de cada tipo de yeso fueron vaciados con agua desmineralizada mientras que los 15 restantes fueron vaciados con agua de cañería previamente seleccionada. Este proceso se realizó con ambos tipos de yeso.

Se midieron tres características en los cilindros de yeso: temperatura del tiempo de fraguado, la resistencia a la compresión y el grado de porosidad superficial.

Los resultados en este estudio fueron obtenidos por medio de análisis numérico obteniendo media y desviación estándar para las propiedades relacionadas a temperatura y grado de porosidad superficial comparando agua desmineralizada y agua de cañería con cada tipo de yeso.

Para poder establecer diferencia en la prueba de resistencia a la compresión se utilizó la prueba de rangos comparados y pares igualados de Wilcoxon (27) entre fractura inicial y catastrófica.

Al analizar la temperatura máxima alcanzada en cilindros vaciados con agua de cañería se encontró una desviación estándar de 0.32 en cilindros vaciados con Yeso Piedra Tipo III y una desviación estándar de 0.41 de cilindros vaciados con yeso Piedra Mejorado Tipo IV. Estos resultados indicaron que no existe diferencia en tiempo que alcanza la temperatura máxima ni tampoco temperatura máxima alcanzada al utilizar agua de cañería.



Al analizar la temperatura máxima alcanzada en cilindros vaciados utilizando agua desmineralizada se encontró una desviación estándar de 0.68 en cilindros vaciados con Yeso tipo III y una desviación estándar de 0.65 de cilindros vaciados con yeso tipo IV. Estos resultados indicaron que no existe diferencia en tiempo que alcanza la temperatura máxima ni tampoco temperatura máxima alcanzada al utilizar agua desmineralizada.

Para el Yeso Piedra Tipo III de acuerdo a la prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon (27) y la interpretación de resultados que esta arroja se encontró una t de 51.6, de acuerdo a la tabla de valores t de Wilcoxon (27) con un nivel de significación de +/- 0.05 se obtiene un valor crítico de 25. No existe diferencia en resistencia a la compresión al vaciar con agua desmineralizada o de cañería.

Para el Yeso Piedra Mejorado Tipo IV y de acuerdo a la prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon (27) y la interpretación de resultados que esta arroja se encontró una t de 54, de acuerdo a la tabla de valores t de Wilcoxon (27) con un nivel de significación de +/- 0.05 se obtiene un valor crítico de 25. No existe diferencia en resistencia a la compresión al vaciar con agua desmineralizada o de cañería.

Respecto al grado de porosidad superficial y medias obtenidas, así como la evidencia observacional al momento de realizar las pruebas con estereoscopio se evidencia que en los cilindros vaciados con yeso Piedra Tipo III existe mayor cantidad de poros en cilindros vaciados con agua de cañería lo cual confirma de que si existe diferencia al usar distinto tipo de agua en el grado de porosidad superficial. En los cilindros vaciados con agua de cañería se obtuvo una media de 107 poros y 96 poros para los vaciados con agua desmineralizada.

Sin embargo, los cilindros vaciados con Yeso Piedra Mejorado tipo IV existe mayor cantidad de poros en cilindros vaciados con agua desmineralizada. Esta diferencia fue debido a que los poros en cilindros vaciados con agua de cañería son de mayor tamaño. En cilindros vaciados con agua de cañería se obtuvo una media de 91 poros y 82 poros con agua desmineralizada.

## II. Introducción

El odontólogo emplea materiales dentales para diversos propósitos, entre ellos se encuentra la elaboración de modelos de estudio y de laboratorio, en los cuales se utiliza un material llamado hemihidrato de calcio comúnmente denominado yeso.

El yeso, tal y como se encuentra en la naturaleza, no puede ser empleado para los diversos propósitos en Odontología, por lo que debe someterse a un proceso de deshidratación y así obtener “hemidratos” o “derivados del yeso” que, según el proceso de deshidratación al que se somete, presenta diferentes características.

Los yesos Tipo III y Tipo IV son ampliamente usados en prótesis fija, total y removible porque tienen la dureza y fuerza necesaria que se requieren durante los procedimientos de laboratorio, por lo que deben copiar con demasiada fidelidad los detalles.

Las instrucciones de elaboración y manipulación son proporcionadas por el fabricante del hemidrato, estas varían según el tipo de derivado de yeso que sea. Una de las recomendaciones que se encuentra en todo tipo de hemidrato es la de emplear agua destilada para elaborar la mezcla, sin embargo, en muchas ocasiones, ya sea por ignorancia, indiferencia y/o demanda de tiempo que representa cada procedimiento de laboratorio, el odontólogo o técnico de laboratorio emplea agua de cañería para realizar la mezcla, sin tomar en cuenta los elementos que esta agua contenga y las interacciones que éstos lleven a cabo con el hemidrato, lo que podrían representar la obtención de modelos con una calidad inferior a la requerida.

Sin embargo, la literatura no demuestra de manera concreta que exista alguna variación en cuanto a las propiedades de porosidad y resistencia a la compresión de los derivados de yeso al emplear agua destilada o agua de cañería.

Por tal motivo, este trabajo de investigación busca encontrar si existe realmente una diferencia en cuanto a las propiedades físico-mecánicas del yeso, siendo estos Yeso Piedra tipo III y el Yeso Piedra Mejorado tipo IV al ser elaborada la mezcla con agua de cañería o agua destilada.

### III. Antecedentes

A nivel nacional no existen antecedentes del tema a investigar, sin embargo, se encontraron temas relacionados descritos en tesis de la Universidad Francisco Marroquín las cuales tratan sobre pruebas de resistencia a la compresión y cambios de exactitud en los modelos finales de yeso.(7,3)

Existen antecedentes como el de Brukl et al citado por Proenca, J. et al (18), en el cual se analizó la influencia de cuatro tipos de agua, dentro de las cuales se encuentran el agua desmineralizada y el agua de cañería en un yeso tipo III empleando aditivos para tiempo de fraguado y control de expansión de fraguado. De acuerdo a los autores los aditivos minimizaron las variantes causadas por los diferentes tipos de agua en el tiempo de fraguado y expansión de fraguado. Twomey et al citado por Proenca, J. et al (18), analizaron la mezcla de yeso tipo V con agua que contenía diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio y encontró en general un decremento en la fuerza compresiva y una demanda más alta de agua para producir la misma consistencia del material que el grupo control, lo cual resultó en muestras con mayor porosidad. El tipo de agua y la adición de hidróxido de calcio son factores que no afectan las fuerzas compresivas del yeso.

Se encontró estudio de Proenca et al. (18) que investigaba la influencia de los diferentes tipos de agua en las propiedades físicas y mecánicas del yeso. En esta investigación no se encontró una diferencia estadística significativa entre los tres tipos de agua estudiada, solamente entre los tipos de yeso. A pesar de las diferentes composiciones del agua, su pureza puede influenciar los resultados de esta investigación por lo que sugerían más estudios para determinar si existe algún elemento que pudiera afectar entre diferentes tipos de agua.

Además, existen artículos que tratan acerca de la proporción agua/polvo que puedan afectar las propiedades mecánicas de los modelos de yeso, por ejemplo: Tavarez et al. (25) en el que se examina cuatro distintas marcas comerciales de yeso tipo IV y se someten a pruebas de compresión, en el cual no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la fuerza compresiva de los materiales. También se encontraron referencias en el artículo de Subhan et al. (24) en el 2016, en el cual se evalúa de igual forma la proporción agua/polvo con cuatro distintos tipos de agua (destilada, mineral, desionizada y potable) mostrando una diferencia estadísticamente significativa especialmente en agua desionizada.

#### **IV. Planteamiento del Problema**

El yeso y sus derivados constituyen materiales odontológicos a los cuales se les pueden modificar fácilmente sus propiedades tanto físicas como mecánicas, por lo que es susceptible a cambios drásticos en sus especificaciones si no se manipula correctamente de acuerdo a las instrucciones del fabricante. En la mayoría de los casos indican realizar la mezcla con agua destilada, pero el odontólogo en su práctica clínica normalmente no toma en cuenta estos requerimientos y utiliza agua de cañería, por diversas razones, ya sea por desconocimiento de dicha instrucción, por indiferencia, prisa etc. Con el presente estudio se busca responder la siguiente interrogante ¿existe diferencia entre las propiedades físico-mecánicas del yeso al utilizar agua destilada o agua de cañería?

## V. Justificación

Todos los materiales dentales tienen especificaciones, las cuales tienen como función expresar de la mejor manera las propiedades de los mismos en general. Las propiedades como resistencia a la compresión, el grado de porosidad superficial y el tiempo de fraguado son propiedades físico-mecánicas importantes a la hora de manipulación del yeso su éxito, tanto en trabajo de laboratorio como clínico, lo cual evitará alteraciones en el material. Con este estudio se pretende encontrar las diferencias y variantes relevantes respecto a las propiedades anteriormente mencionadas, si es que las hay. Para esto se tomarán en cuenta las variantes que puede presentar un yeso al ser manipulado con agua destilada (como lo indica el fabricante) o agua de cañería. Si existen datos que indiquen la presencia de variantes, es necesario divulgarlas en el medio odontológico para adquirir el conocimiento suficiente con estudios sustentados científicamente. El siguiente estudio se realizó con dos estudiantes: Pedro Pablo Arroyave y Josemanuel Trujillo debido a la dificultad y tiempo de trabajo, así como presupuesto de investigación. Es importante saber la forma correcta de preparar la mezcla ya que, en la mayoría de las veces, se utiliza agua de cañería y hay carencia de evidencia científica que especifique las alteraciones de las propiedades físico-mecánicas que el yeso pueda adquirir.

## VI. Revisión de la Literatura

### 6.1 El Yeso

El Yeso es un mineral que en diferentes épocas de la historia se ha empleado para un sinnúmero de propósitos. De hecho, se cree que el alabastro en el templo de Salomón estaba conformado por yeso (1). Los restos más antiguos se remontan a 9,000 años de antigüedad y fueron encontrados en Anatolia y Siria. Se sabe que hace 5,000 años los egipcios quemaban el yeso en fogatas al aire libre, después lo trituraban convirtiéndolo en polvo y finalmente mezclaban el polvo con agua para crear bloques del material y hacer sus monumentos como por ejemplo el magnífico templo de la Pirámide de Cleopatra, también utilizaban modelos de yeso tomados directamente del cuerpo humano.

Los griegos también usaban yeso, particularmente como ventana de sus templos cuando eran de características transparentes. El escritor Teofrasto describió precisamente la fabricación del yeso como lo hacían en Siria y Fenicia. Los romanos también imprimieron miles de copias de las estatuas griegas.

A través de los años en muchas partes del mundo se ha adquirido experiencia en la calcinación del yeso. En los años de 1,700, París era la capital del yeso, ya que todas las paredes de las casas de madera eran recubiertas con yeso, como protección contra el fuego. El rey de Francia impuso esta ley después del gran desastre sucedido en Londres en 1,666, después de que la ciudad fue destruida por completo por un incendio.

La primera vez que el yeso fue usado en Odontología es cuando el odontólogo alemán, Philipp Pfaff (1,713-1,766) en su tesis describió como hizo una impresión mandibular con cera y después la vació con yeso, (5) esto fue un gran descubrimiento en Odontología ya que llevó a lo que actualmente se les conoce como técnicas indirectas.

En Odontología se emplean derivados del yeso, constituyen un material dental básico, que en sus diferentes presentaciones tiene diferentes funciones como vaciado de impresiones,

montaje de modelos en articulador y modelos de trabajo menores (troqueles) en laboratorio para coronas, prótesis fija etc.(7)

El material para modelos, además de esas condiciones de brindar la posibilidad de copiar detalles y la exactitud dimensional, debe tener propiedades que aseguren que el modelo no se va a deteriorar mientras se use. Esto significa que no debe ser alterado por el eventual contacto con el agua u otros solventes y debe ser capaz de resistir las fuerzas que tiendan a producir su fractura o desgaste.

El mineral yeso lo podemos encontrar en la naturaleza y posee una estructura multicristalina, cuyo análisis comprueba la presencia de oxígeno, azufre y calcio. Se representa así:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (5). Por lo tanto, se puede describir al yeso como un sulfato de calcio dihidratado.(12)

El yeso en su estado natural no se puede emplear como material para copiar los detalles de una impresión dental, por eso es necesario obtener derivados del yeso aptos para cumplir con este propósito. Estos se obtienen básicamente deshidratando el yeso con calor, elevando la temperatura de aproximadamente 110 hasta 130 °C para que se elimine el agua de cristalización y así obtener sulfato de calcio hemihidratado, que ya es apto para usarse como yeso para modelos o en las diferentes aplicaciones. (12)

En resumen, un profesional de la Odontología, para confeccionar un modelo de estudio, compra hemihidrato, y lo mezcla con agua, obteniendo así una masa que luego es vaciada en una impresión, para que esta endurezca adquiriendo la forma de la misma(12).

La relación de polvo – agua, según la estequiometría (relaciones de masa de los elementos químicos que están implicados en una reacción química), indica que por cada gramo se necesita no más de 0.19 ml, sin embargo, si se emplea esta relación la consistencia que se obtiene no es lo suficientemente fluida como para que se copien los detalles de una impresión. Por lo que es empleada una relación con más agua para obtener una fluidez adecuada. Esto logra como producto una masa sólida que contiene hemihidrato (yeso) y agua, la cual se evaporará con el paso de las horas.

Es importante tener en cuenta que mientras más agua se emplee en la mezcla, menor será la resistencia del yeso, porque será más porosa. (12)

## 6.2 Especificaciones ADA

La ADA, en su especificación #25, establece los requerimientos básicos del yeso, los cuales se resumen en los siguientes incisos:

- La relación líquida – polvo deben ser respetadas por el usuario y proporcionadas por el fabricante para que el yeso posea sus óptimas cualidades.
- Se establece los requerimientos de los yesos:
  - El yeso debe cumplir con las propiedades establecidas:
    - Fineza del grano 98% o 95%
    - Resistencia a la compresión en:
      - $\text{MN/m}^2$  ----- 20.6 min
      - $\text{Kg/vm}^2$  ----- 210 min
      - Psi ----- 3000 min
    - Tiempo de fraguado 12 + 4 min.
    - Expansión de fraguado a las 2h: 0.00% mínima y 0.20% máxima
- Deben ser incluidas con el yeso las instrucciones de manejo, es decir, técnica de mezclado, la relación líquida – polvo ideal, el tiempo de trabajo, el tiempo de fraguado, las instrucciones de almacenamiento y cuidados, etc. (3)

## 6.3 Tipos de hemihidrato de calcio

La manera más simple y económica de obtener el hemihidrato es con la cocción del dihidrato molido en recipientes a una temperatura indicada, y como resultado se obtiene una estructura del yeso muy porosa y poco resistente que requiere de mucha agua para la reacción. Sin embargo, se han implementado diversas variantes para obtener diferentes tipos de hemidrato, por ejemplo, si se emplea autoclave para el proceso de cocción, se obtiene como resultado una estructura cuyos cristales son más regulares y menos porosos, por lo que requiere menos agua y son más resistentes; también se puede obtener hemidrato a partir de soluciones de sales de cloruro de calcio o en forma sintética a partir de otros



químicos, que nos permite obtener estructuras de yeso con cristales más ordenados, que requieran menos agua y son más resistentes. (12) Estos diferentes tipos de hemidrato se han comercializado e industrializado con diferentes nombres y propósitos:

- El hemidrato calcinado en seco se le conoce como yeso parís o yeso tipo II.
- El hemidrato obtenido con autoclave se le conoce como yeso piedra o yeso tipo III.
- El resto de hemidratos se les conoce como yeso piedra mejorado y yeso tipo IV.(7)

## **6.4 Composición**

### **6.4.1 Yeso de París (Hemidrato beta)**

El termino yeso de París se designó porque se obtenía de los depósitos de yeso cerca de París Francia. Si se calienta el yeso a una temperatura entre 110°C y 120°C en un horno rotatorio al aire libre, se obtiene hemidrato beta. Los cristales de este tipo de yeso son porosos y de forma irregular.

Si se mezcla el hemidrato alfa con agua, el material es mucho más resistente y duro que el obtenido del hemidrato beta, esta diferencia es principalmente por la forma de los cristales. El polvo del hemidrato alfa necesita que se mezcle con una cantidad de agua mucho menor que el hemidrato beta. El hemidrato beta requiere mayor cantidad de agua para que sus partículas floten y pueden ser espatuladas. (7)

### **6.4.2 Yeso Piedra (hemidrato alfa)**

Para obtener hemidrato alfa, el mineral de yeso puede ser:

- Calcinado bajo presión de vapor en autoclave a temperaturas entre 120 °C y 130°C.
- Deshidratado en agua en autoclave en presencia de succinato de sodio (0.5% o menos).
- Deshidratado en una solución en ebullición de cloruro de calcio al 30% en un recipiente.
- Los cristales del hemidrato alfa son densos y de forma prismática. (7)

El yeso piedra está conformado en su mayoría por hemidrato alfa, es de color blanco al igual que el beta por lo que se le agrega un colorante que por lo general es amarillo. Es utilizado en enmuflado y para modelos de estudio. Los yesos comerciales tienden a contener una pequeña cantidad de hemidrato beta para que la mezcla posea una consistencia suave. Se le agregan diversos modificadores químicos: sulfato de potasio como acelerador y citrato de sodio como retardador, agregarles estos modificadores reduce la expansión lineal del fraguado y determina el tiempo de fraguado. Si el tiempo de fraguado es determinado de esta manera se dice que el yeso esta “equilibrado”. Las ventajas de un yeso equilibrado es que la expansión y el tiempo de fraguado no son afectados por el tipo de mezclado solamente por la proporción agua/polvo (3). La expansión del fraguado del yeso piedra varía entre 0.006 y 0.12%, lo cual por lo general no es de importancia práctica.

#### **6.4.3 Yeso Piedra Mejorado(modificación de hemidrato alfa)**

Para la producción de yeso piedra mejorado, el dihidrato es hervido con cloruro de calcio y cloruro de magnesio; estos ayudan a separar las partículas individuales que se aglomeran; y las partículas son más compactas y suaves que las del yeso piedra. (7)

El yeso piedra mejorado se caracteriza por tener partículas cuboidales, más finas, compactas y lisas. Esto le confiere una mejor calidad de superficie, y mayor resistencia seca a la compresión que el yeso Tipo III. También permite utilizar una proporción de agua/polvo menor que el Tipo III, sin embargo, el tiempo de fraguado de ambos yesos es bastante similar.(3)

Es el yeso con menor índice expansión lineal de fraguado. Por estas características es el tipo de yeso ideal para el llenado de modelos maestros y modelos menores. Todos los yesos al irse hidratando, durante su almacenamiento, aumentan gradualmente este tipo de expansión, sin embargo, el yeso tipo IV es el más estable al respecto.(3)

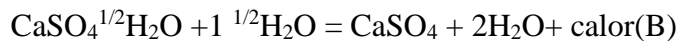
El yeso piedra tipo IV se caracteriza por su dureza; sin embargo, existen condiciones en las cuales se necesita aumentar esta propiedad, realizando una mezcla con la menor proporción de agua/polvo que permita el llenado de las zonas muy pequeñas a base de vibración. Otro método utilizado, aunque es ineficaz en yeso piedra, es la inmersión del modelo o muestra en una solución endurecedora de bórax al 2% durante varias horas.(3)

Según la ADA, los tipos de yeso I, II, III, IV y V tienen la misma fórmula, lo que varía entre ellos son sus propiedades físicas, por lo que son útiles para diferentes propósitos en Odontología. Todos se derivan de depósitos naturales de yeso, la diferencia principal es la manera de extraerles el agua de sulfato de calcio dihidratado. (7)

Como se mencionó anteriormente la resistencia del yeso está determinada por la cantidad de agua que requiere en la mezcla, mientras más agua necesite menor será la resistencia.

### **6.5 Reacciones de fraguado del Yeso**

La característica principal del yeso es la fácil reversibilidad de la reacción de deshidratación parcial por calor. En efecto, así como al aplicar calor (110-130 °C) al dihidrato se obtiene hemihidrato (reacción 1) y la liberación de agua, agregando agua al hemihidrato se obtiene dihidrato y la liberación de calor (reacción 2).



La reacción del polvo de yeso con el agua es exotérmica, y la liberación de la energía durante el fraguado y endurecimiento del material puede ser percibido fácilmente por medio del tacto en la superficie del material.

El aumento de temperatura no es constante ni permanente o de igual intensidad, sino que exhibe una curva de progresión limitada a medida que termina la formación del producto final. Al inicio existe muy poca reacción por lo que hay poco o ningún aumento de la temperatura y se le denomina periodo de inducción.

En este periodo de aproximadamente 20 minutos de duración se generan los primeros centros de cristalización de los cuales sirven de núcleos para la formación de nidos en forma de agujas llamados esferulitas. (7)

Hasta este momento la masa se ha espesado y endurecido, pero carece de consistencia y rigidez. Sin embargo, a medida que la reacción avanza, el entremezclado y la imbricación final de los cristales de dihidrato dan lugar a una estructura sólida, rígida y fuerte. (7)

En una descripción superficial puede decirse que, para confeccionar un modelo, el profesional o técnico compra hemihidrato en polvo y lo mezcla con agua. La masa plástica obtenida es vaciada en la impresión para copiarla. Luego de un tiempo, la masa plástica se transforma en un sólido (se produce el endurecimiento o fraguado) y, al separarla de la impresión, se obtiene el correspondiente modelo. (12)

En realidad, la transformación de masa plástica a masa endurecida se produce por un mecanismo algo similar al caso de los cementos y la amalgama. Efectivamente, al realizar la mezcla, el hemihidrato se disuelve parcialmente en el agua (su solubilidad es de 0,9 g/100 g). Una vez disuelto, reacciona con el agua y se transforma en dihidrato que es menos soluble (solubilidad del dihidrato, 0,2 g/100 g). Así, la solución se sobresatura y precipita dihidrato en forma de cristales que van creciendo a partir de los que se hacen primeros (núcleos de cristalización). (12)

En resumen, puede considerarse que en el fraguado del yeso se produce:

- a) Disolución del hemihidrato.
- b) Formación de dihidrato.
- c) Precipitación y crecimiento de cristales de dihidrato.

Puede, entonces, considerarse que el fraguado del yeso está determinado por la diferencia de solubilidad entre el hemihidrato y el dihidrato, lo cual hace que la solución se sobresature y se produzca la última etapa de precipitación y cristalización.

## **6.6 Relación y proporciones agua/polvo (A/P)**

Una red o microtrama con una serie de microporos se forma como resultado de la obstrucción mutua y movimiento de los cristales; o bien del entremezclado de los mismos,

durante su formación. Por lo tanto, se deduce que mientras mayor sea la proporción agua/ polvo, mayor será la porosidad en el material fraguado debido a un menor número de núcleos de cristalización por unidad de volumen y a un menor número de entrecruzamientos entre los cristales. (7)

Una de las variables más importantes en la determinación de las propiedades fisicoquímicas del yeso es la proporción A/P. A mayor proporción A/P, mayor tiempo de fraguado y producto final más débil y poroso. El grado de fineza del grano en polvo es importante ya que mientras más fino sea menor proporción A/P requiere (como el yeso Tipo IV y Tipo V). (7)

Los yesos deben ser mezclados con proporciones A/P adecuadas para obtener consistencia máxima de mezclado, facilidad en el vaciado y evitar que el material sea demasiado fluido o viscoso. Al retirar los modelos de yeso de la impresión estos deben de tener una superficie lisa, nítida y exacta del negativo. Estos signos son la prueba de fidelidad del material. Lo más aconsejable es mantener el yeso en temperatura y humedad ambiente.(7)

Sin embargo, puede que se requiera sumergir el mismo en agua, por alguna razón. El yeso posee una solubilidad tal que pueden disminuirse sus proporciones si se encuentra bajo de agua no saturada. Es por ello que la solubilidad del yeso ante el chorro de agua corriente provoca la disminución de las dimensiones lineales, del modelo en un 0.1% cada 20 minutos de inmersión. (7)

Desde el punto de vista de la reacción química, para que el yeso reaccione, se necesita una proporción de 18.6 ml de agua para 100 gramos de polvo, la cual es una relación de estequiometría, pero desde el punto de vista de la práctica odontológica para poder mezclar 100 gramos de polvo y hacer el vaciado del agua/ polvo, (11) se debe hacer como lo especifica elCuadro No. 1.

**Cuadro No. 1**  
**Proporciones de Agua/ Polvo necesaria para realizar la mezcla de distintos tipos de Yesos**

<b>Tipo De Yeso</b>	<b>Proporción de Agua</b>	<b>Proporción de Polvo</b>
<b>Yeso Paris</b>	40 a 50 cc	100 gr
<b>Yeso Piedra</b>	29 a 30 cc	100 gr
<b>Yeso Mejorado</b>	22 a 24 cc	100 gr
<b>Yeso Sintético</b>	20 a 28 cc	100 gr

Fuente: (7)

Siempre debe usarse la proporción indicada por el fabricante. Conviene medir el agua y pesarel polvo. Cuando se requieran modelos para cuyo propósito demanden menos precisión puede intentarseel mezclado sin medir el agua y el polvo. Se incorpora el polvo, poco a poco hasta observar que comienza a flotar en la superficie, en estemomento puede considerarse que se tiene la relación agua/polvoadecuada. (11)

### **6.7 Tiempo de fraguado**

Es el tiempo transcurrido desde que se mezcla el polvo con el agua hasta el momento en el cual no se puede penetrar en su superficie utilizando agujas de Gilmore o Vicat. Con estas se obtienen dos tiempos de fraguado, el inicial y el final, lo cual, desde el punto de vista práctico, permitirá durante el fraguado inicial hacer los recortes preliminares del modelo y en fraguado final, retirar la impresión. (11)

El tiempo de endurecimiento o fraguado del yeso debe de ser lo suficientemente prolongado como para que permita realizar el mezclado y vaciado, es decir, debe tener un suficiente tiempo de trabajo, sin embargo, tampoco debe ser demasiado prolongado para que no demore el resultado final. El tiempo de fraguado en ocasiones se describe en tres fases, las cuales se describen a continuación:

**1º Tiempo de manipulación;** es el periodo que transcurre desde la mezcla con el agua, en la cual puede ser manipulada manual o mecánicamente hasta el depósito o vaciado en la impresión o negativo, sin exceder los 60 segundos.(2)

**2º Tiempo inicial de fraguado;** se refiere al tiempo necesario para que el material adquiriera un grado mínimo de consistencia (semi-duro). En este periodo no se puede manipular manual o mecánicamente ya que puede debilitarse el modelo por ruptura de los cristales de fraguado. Este tiempo se mide hasta la primera hora después del vaciado en el negativo de la impresión.(2)

**3º Tiempo final de fraguado;** al igual que el anterior el modelo puede sufrir rupturas de sus cristales, por lo tanto, no debe sufrir movimientos bruscos, es el tiempo requerido para que el material se considere suficientemente endurecido, debe haber transcurrido por lo menos 24 horas.(2)

El tiempo de fraguado varía de acuerdo con el fabricante, sin embargo, existen métodos por los cuales se puede verificar el grado de endurecimiento, así, el más empleado es el sistema Vicat (mediante agujas de Vicat). (2)

### **6.7.1 Estadios durante el fraguado.**

Durante el proceso del fraguado se pueden evidenciar importantes cambios físicos, desde el primer momento de la mezcla, en principio se presenta como un líquido viscoso pseudoplástico y brillante que fluye fácilmente bajo el efecto vibratorio, esta viscosidad va en aumento por el crecimiento de los cristales de yeso a expensas de la fase acuosa, a medida que se agrupan los cristales. Esta mezcla se torna plástica y deja de fluir, en esta etapa aún puede ser modelado; luego el brillo desaparece y continúa el crecimiento de los cristales, formando una masa sólida rígida en principio débil pero que va ganando firmeza conforme transcurre el tiempo.(11)

## 6.8 Manipulación del yeso

Es muy común el uso de las copas de hule, que están fabricadas de goma, cuyo fondo es parabólico, lo que facilita su limpieza, y se emplea también una espátula de metal para mezclar. Estos instrumentos deben estar limpios y no poseer restos de yeso ya fraguado para evitar que se afecten el tiempo de fraguado y no producir cambios dimensionales. Existen aparatos para la mezclamecánica y también para realizar lamezcla con presión negativa, es decir, al vacío, para disminuir la porosidad.(7)

Existen diferentes maneras de manipular el tiempo de trabajo y se logra variando:

- La velocidad de disolución del hemihidrato.
- La velocidad de la reacción de transformación del hemihidrato en dihidrato.
- La cantidad y velocidad de formación de los núcleos de cristalización.

La cantidad de núcleos de cristalización está determinada por varios factores, como, por ejemplo, la relación agua/polvo utilizada. Cuanto mayor sea la cantidad de agua, menor será la cantidad de cristales que se forman por unidad de volumen y más lento será el fraguado. Lo inverso se produce en mezclas con menos agua. Otro factor que influye en el tiempo de fraguado es el tiempo de espatulación o mezclado, puesto que si se realiza de manera vigorosa o rápida se rompen los cristales en formación y se crean nuevos núcleos de cristalización por lo que se acelera el tiempo de fraguado. Asimismo, si en la mezcla existen restos de yeso fraguado, se acelerará el tiempo de fraguado. La elevación de la temperatura acelera también la transformación química del hemihidrato en dihidrato y esto acelera el tiempo de fraguado. Sin embargo, también hace disminuir la solubilidad del hemihidrato y, por eso, cuando se superan los 50<sup>0</sup>C comienza a disminuir su efecto y producirse un descenso en el tiempo de fraguado. (12)

La velocidad de disolución del hemihidrato puede ser modificada con la incorporación en el polvo de sustancias que la faciliten o la dificulten. Las primeras, obviamente, aceleran el proceso de fraguado (aceleradores) y las segundas lo retardan (retardadores). En la



formulación industrial de los yesos se utilizan los aceleradores y retardadores para adecuar los tiempos de trabajo y de fraguado final a las necesidades del trabajo odontológico. (12)

### **6.8.1 Incorporación del polvo al agua**

Debe evitarse atrapar aire, porque puede ocasionar porosidad adicional que debilita al yeso fraguado. Para evitarlo, debe incorporarse poco a poco el polvo al agua ya colocada en la copa de hule. (11)

### **6.8.2 Mezcla**

Debe hacerse con cierto vigor especialmente cuando se utilizan relaciones agua/polvo bajas como en el yeso piedra y el yeso piedra mejorado, hasta obtener una mezcla sin grumos y con todo el polvo incorporado al agua. El tiempo que demora es usualmente entre 30 y 60 segundos. Una vez que se ha iniciado la mezcla, cualquier incorporación adicional de polvo o agua produce aumento de porosidad, que debilita el modelo resultante. (11)

### **6.8.3 Retardadores y aceleradores del yeso**

Los retardadores por lo general, forman una capa de adsorción sobre el hemihidrato y los cristales de yeso presentes para reducir la solubilidad. Algunos materiales orgánicos, como el pegamento, la gelatina y algunas gomas, se comportan de esta manera. Otro tipo de retardador consiste en sales que forman una capa de sal cálcica, que es menos soluble que el sulfato. Entre ellos se incluyen el bórax, el citrato de potasio y el cloruro sódico. (1)

Muchas sales orgánicas se comportan como aceleradores en concentraciones pequeñas, sin embargo, en concentraciones altas pueden actuar como retardadores. Estos compuestos también afectan otras características como la expansión del fraguado. (1)

El operador debe intentar controlar el tiempo de fraguado añadiendo retardadores o aceleradores al polvo de sulfato de calcio hemihidratado. Se puede acelerar el tiempo de fraguado añadiendo yeso, sulfato potásico o cloruro sódico. El yeso se añade clásicamente incluyendo una pequeña proporción de lechada al agua de la mezcla.

Sin embargo, no debe agregarse una cantidad significativamente mayor de polvo en el agua de mezcla porque dificultaría la obtención de un producto con las características de flujo óptimas. (1)

En su lugar, el odontólogo debe adquirir un producto de fraguado rápido si desea un proceso de fraguado acelerado sustancialmente. Como alternativa se pueden incrementar ligeramente el tiempo o la velocidad de mezclado para acelerar así la reacción de fraguado.  
(1)

Pero estos parámetros deben adecuarse al tiempo de trabajo para el producto de que se trate. El uso de agua fría no tendrá un efecto significativo en el tiempo de fraguado(1). Por ello, para asegurarnos de que éste será el más largo posible, ha de adquirirse un producto de fraguado normal y/o utilizar tiempos de mezclado mínimos y velocidades de mezclado más lentas.(1)

#### **6.8.4 Cambios dimensionales**

Para que un modelo pueda considerarse aceptable, no deben producirse cambios dimensionales significativos, los cuales son productos de las reacciones químicas que se producen durante el fraguado del yeso. La expansión se produce por el choque, crecimiento y empuje de los cristales de dihidrato.

Una manera de lograr que los valores de expansión no sean excesivos, es tratar de modificar la forma del modelo, es decir, hacerlos más gruesos y cortos, sin embargo, esto puede afectar la exactitud dimensional. Otra manera es incorporar sustancias como el sulfato de potasio y el bórax, que además de regular la velocidad de fraguado, también regulan el cambio dimensional. Logrando, con ello, que no sólo tienen un adecuado tiempo de trabajo y fraguado sino también una adecuada exactitud dimensional.

El tiempo excesivo de espatulación, o añadir partículas de yeso ya fraguado aumentará la expansión, puesto que existirán más cristales que se empujarán entre sí. Otro factor que puede aumentar la expansión es el contacto de agua con una mezcla durante el tiempo de fraguado, debido a que el agua se introduce en la mezcla y ocasiona un crecimiento de los cristales.

#### **6.9 Propiedades físico mecánicas**

Usualmente cuando utilizamos materiales odontológicos solo analizamos los pasos para su manipulación y se pasan por alto sus propiedades mecánicas, ya que los términos y medidas

que se emplean no son conocidos plenamente por los odontólogos y son complejos de analizar en textos de biomateriales, debido a esto no se puede analizar críticamente el comportamiento mecánico de muchos materiales y sólo se pueden evaluar clínicamente. El objetivo de los conceptos presentados a continuación es definir de manera sencilla y precisa conceptos de físico-matemáticos aplicados a la Odontología que tendrán relevancia en la metodología de trabajo en el presente estudio.

Los materiales tienen propiedades intrínsecas, que son las propias de éstos, y propiedades extrínsecas, que son las que se evidencian cuando una fuerza actúa sobre ellos. Las propiedades mecánicas definen la capacidad del material para resistir acciones externas o internas que implican la aplicación de fuerzas sobre el mismo. Nos permiten entender el comportamiento de un material sometido a la acción de fuerzas. Fuerza es descrita como cualquier causa que inicie cambio o detenga el movimiento. Estas fuerzas son compresión, tensión, flexión e impacto. Para fines prácticos de este estudio nos enfocaremos en la fuerza de compresión y conceptos relacionados a los cuales estarán sometidas, las muestras de estudio.

### **6.9.1 Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es la carga (o peso) por unidad de área a la que el material falla (se rompe) por fracturación por cizalla o extensional. Esta propiedad es muy importante en la mecánica de materiales, tanto en situación no confinada, como confinada. (3). Dado que los materiales cerca de la superficie terrestre, incluyendo los edificios, suelen estar sometidos a condiciones no confinadas, se considera exclusivamente esta situación.

La resistencia a la compresión uniaxial (longitudinal) se mide en una prensa hidráulica que registra el esfuerzo compresor aplicado sobre una probeta de material de una dirección del espacio, y la deformación lineal inducida en esa misma dirección.(4)

### **6.9.2 Esfuerzo**

El esfuerzo es igual a la fuerza aplicada por sección o superficie: la fuerza se expresa en Newton y la sección o superficie es la muestra. Dado que la fuerza es un vector también lo es el esfuerzo. Así dado que el signo de la fuerza se toma negativo por convenio cuando es compresiva y positivo cuando es tensional, el esfuerzo compresor es negativo y el tensor es positivo. (4)

### **6.9.3 Deformación Lineal**

Es igual al cambio de longitud experimentado por la longitud original de la muestra. La deformación inducida sobre un cuerpo debido a la acción de un campo de fuerzas exteriores puede ser elástica o plástica. La deformación es elástica cuando el cuerpo recupera su forma y volumen inicial, cuando se le deja de aplicar fuerzas. En caso contrario la deformación es plástica. El que la deformación sea elástica depende de la naturaleza del cuerpo, de la temperatura y del grado y tasa de velocidad al que haya sido sometido.

Para estudiar el comportamiento mecánico de los materiales se recurre a la experimentación sometiendo a los mismos esfuerzos progresivos y registrando la deformación resultante: los datos se expresan en diagramas, donde se observa el esfuerzo directamente proporcional a la deformación: este comportamiento constituye la ley de Hooke, que aplica solo para pequeñas deformaciones hasta un límite denominado límite de proporcionalidad.(4)

Para deformaciones superiores al límite de proporcionalidad existe un cierto tramo de la curva donde el comportamiento del material es elástico, aunque no existe proporcionalidad entre esfuerzo y deformación son nulos. La proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación en el tramo de la ley de Hooke permite definir el módulo de Young o módulo de elasticidad. La elasticidad es una propiedad física de un cuerpo de deformarse ante la aplicación de un esfuerzo, y la capacidad del cuerpo de regresar a su forma original una vez retirado el esfuerzo. (17)

Al aumentar el esfuerzo y superarse el límite elástico la deformación aumenta rápidamente y es en parte permanente.

Se alcanza nuevamente el punto donde el esfuerzo es nulo, pero existe cierta deformación permanente ya que el cuerpo no recupera su longitud original. Al aumentar el esfuerzo se llega finalmente al último punto, el cual es llamado “punto de ruptura”, donde el cuerpo experimenta una fracturación catastrófica por cizalla o fisuración extensional. Este punto de ruptura define en términos, el esfuerzo compresivo y la resistencia a la compresión.(4)

Cuando se somete una estructura a unacompresión, el cuerpo puede romperse comoconsecuencia de una serie de tensiones muycomplejas que se generan en el mismo.

#### **6.9.4Fractura**

Ha sido definida en varias formas por diversos autores, algunos puramente descriptivos, otras en relación con su origen y otras más enfocadas al aspecto mecánico, el enfoque que daremos a continuación es mecánico. (22)

La palabra “fractura” proviene del latín *fractus*, que significa “quebrar” y se ha empleado para referirse a las superficies discretas que segmentan o dividen en bloques a rocas y minerales en la naturaleza; estas definen superficies de baja cohesión. Son el resultado del comportamiento quebradizo de los materiales. Las fracturas pueden ser generadas por la concentración de esfuerzos en zonas de contraste composicional, por pérdida de volumen (compactación), por enfriamiento, durante deformación contraccional o extensional. (22)

##### **6.9.4.1Clasificación genérica de las fracturas.**

Tres tipos de fracturas han sido observadas en forma consistente y en ángulos predictibles con referencia a las tres principales direcciones de esfuerzo, durante pruebas de compresión, extensión y tensión, en el laboratorio. Todas las fracturas en las rocas caen dentro de estos tipos básicos de fracturas: Cizalla, extensión y tensión. (22)

- Fracturas de cizalla: Este tipo de fracturas tienen un sentido de desplazamiento paralelo al plano de fractura, éstas forman ángulos agudos con respecto a la máxima dirección del esfuerzo compresivo principal y un ángulo obtuso con respecto a la dirección mínima de esfuerzo compresivo. Las orientaciones potenciales de cizalla se pueden desarrollar en cualquier experimento de fracturamiento en el laboratorio.

El ángulo agudo entre las fracturas de cizalla es llamado el ángulo conjugado y este depende principalmente de:

- 1.- Las propiedades mecánicas del material.
  - 2.- La magnitud absoluta del esfuerzo principal mínimo.
  - 3.- La magnitud del esfuerzo principal intermedio. (22)
- Fracturas de extensión: Este tipo de fracturas son aquellas en las cuales las dos paredes de la roca agrietada se muevan a cierta distancia, una de otra en sentidos opuestos, alejándose del plano de fractura. Este tipo de fracturas se desarrollan cuando los esfuerzos principales son de extensión. (22)
  - Fracturas de tensión: Estas fracturas son similares a las fracturas de extensión por que en ambos casos las paredes se separan perpendicularmente, a una cierta distancia del plano de fracturamiento. Se debe tomar en cuenta que las fracturas de extensión se forman debido a un componente mínimo de esfuerzo principal (compresivo positivo), que es opuesto a la generación de las fracturas de tensión que se forman por un componente mínimo de esfuerzo tensional negativo. (22)

#### **6.9.5 Resistencia al cizallamiento**

Es la máxima tensión que puede soportar un cuerpo sin romperse ante una carga de cizallamiento. Este parámetro tiene una importancia muy especial en el estudio de las superficies de unión entre dos materiales, en este caso el yeso y el agua.

Sea usa una muestra de material de forma cilíndrica de radio  $R$  y longitud  $L$ . Un extremo está fijo, y en el extremo libre se le aplica una fuerza con el fin de producir cizallamiento en el mismo.

#### **6.9.6 Formas Geométricas**

Una misma propiedad de un material puede medirse en distintos aparatos, bajo distintas condiciones experimentales y utilizando probetas de muestra de distintas dimensiones y formas. Esto supone generalmente obtener resultados distintos para una misma propiedad, por lo que éstas deben medirse siguiendo una serie de parámetros. (4)

Los resultados de los experimentos obtenidos dependen de la forma y tamaño de la probeta. Así los prismas y cilindros largos presentan menores resistencias que los cubos con la misma área de sección y éstos a su vez menor que los prismas y cilindros cortos (con alturas menores que sus lados o radios). Igualmente, la resistencia a la compresión depende de la tasa de la aplicación de la carga, de forma que, a mayores velocidades de compresión, mayor es el valor de la resistencia. (5)

En Ingeniería, el ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se realiza con hormigones y metales (sobre todo aceros), aunque puede realizarse sobre cualquier material.

- Se suele usar en materiales frágiles, por lo que es un ensayo ideal en yesos.
- La resistencia en compresión de todos los materiales siempre es mayor o igual que en tracción.

A estos ensayos se les suele llamar pruebas estáticas pues las cargas se aplican muy lentamente, ya que la forma de la aplicación incide en la respuesta de los materiales.

El esfuerzo o fatiga se calcula dividiendo la carga entre el área de sección transversal, y ocurre, como se mencionó anteriormente que, al ir aumentando la carga, la sección transversal disminuye, por lo que el esfuerzo o tensión aumenta más de lo previsto, ya que ni el área instantánea puede volverse mucho mejor que el área inicial. (17)

Una vez realizada la prueba y tomado varias medidas a lo largo del ensayo se puede trazar el llamado diagrama esfuerzo, fatiga o tensión-deformación. Estos diagramas fueron creados por Bernoulli y Poncelet y con ello se aprecia que cada material ofrece características propias que proporcionan una valiosa información sobre su comportamiento. Se observa que el diagrama comienza con una línea recta que indica que las deformaciones son directamente proporcionales a las tensiones, por lo que se dice que el material tiene un comportamiento lineal, a partir de ese punto el comportamiento deja de ser lineal y se

observa que las deformaciones crecen con pequeños incrementos de tensión, donde se llega a un límite de proporcionalidad.(17)

Los diagramas de tensión-deformación permiten estudiar el comportamiento de un determinado material cuando se somete a la acción de una carga estática, es decir, de una carga que aumenta de forma muy lenta. La pregunta que cabe hacerse es: ¿qué sucede cuando la carga se retira lentamente y el material se descarga?

Supongamos que, al aplicar una carga a un material, la curva tensión- deformación sigue su recorrido de un punto a otro, y al retirar la carga lentamente el material sigue exactamente la misma curva para regresar a su estado original, se dice entonces que el material es elástico y esta propiedad se llama elasticidad. Si se repite la acción incrementando progresivamente el valor de la carga, se observa que llega a un valor de la tensión a partir de la cual la barra no vuelve a su longitud inicial. La tensión o esfuerzo a partir del cual la barra pierde su elasticidad se conoce con el nombre de límite elástico del material. Es importante mencionar que la curva tensión-deformación no tiene porqué ser lineal para que un material pueda ser elástico.

El límite elástico suele ser ligeramente superior o muy cercano al límite de proporcionalidad, hay casos como el acero, en los que ambos valores prácticamente coinciden y otros, como el caucho en los que el límite elástico es mucho más elevado que el límite de proporcionalidad.

La característica de un material que le permite soportar deformaciones superiores al límite elástico se denomina plasticidad y en la curva-tensión deformación se manifiesta porque aparece una nueva región seguida de la plástica.

Al obtener la curva de tensión deformación también se debe considerar el tiempo de duración de la carga aplicada, ya que, si la duración de la carga aplicada es suficientemente grande, y aparecen deformaciones permanentes que se mantienen al eliminar la acción, se dice que el material fluye. Este proceso se denomina relajación del material y se da en general de forma importante a altas temperaturas.



### **6.9.7 Elasticidad Lineal: Ley de Hooke**

La mayoría de los materiales usados en la construcción de máquinas tienen una región inicial en el diagrama esfuerzo-deformación, en la que se comporta de forma elástica lineal. Cuando esto ocurre se dice que el material es linealmente elástico.(17)

### **6.10 El Agua y su contenido mineral**

La composición del agua varía ampliamente con las condiciones geológicas locales, ni el agua subterránea ni de superficie han sido alguna vez químicamente puro  $H_2O$ , ya que el agua contiene pequeñas cantidades de gases, minerales y materia orgánica de origen natural. El total de concentraciones disueltas en agua fresca consideradas de buena calidad pueden ser cientos de mg/L. El conocimiento de que el agua puede contener algunos constituyentes que son indeseables, es el punto de partida para establecer regulaciones para la calidad del agua. Concentraciones aceptables máximas de sustancias orgánicas e inorgánicas y microorganismos han sido establecidas internacionalmente en muchos países para asegurar el consumo del agua. Los efectos potenciales del agua totalmente desmineralizada no han sido considerados, ya que este tipo de agua no se encuentra de forma natural, excepto en el agua de lluvia y el hielo formado naturalmente. (10)

En adición muchas fuentes de agua natural son bajas en contenido de muchos minerales o “suaves” (bajas en iones divalentes), y las aguas densas son muchas veces artificialmente suavizadas. (10)

Agua desmineralizada producida artificialmente, primero el agua destilada y después agua desionizada, o agua tratada con osmosis reversa, han sido usadas principalmente para uso industrial, técnico y propósitos de laboratorio. Estas tecnologías se convirtieron más ampliamente aplicadas en el tratamiento del agua desde la década de 1960, en áreas que tenían fuentes de agua limitada, o áreas costeras y áridas que tenían un amplio crecimiento de su población y no podían satisfacer la alta demanda de agua natural, también lugares con altos estándares de vida, desarrollo de la industria y turismo masivo. (10)

El agua desmineralizada es definida como agua completa o casi completamente libre de minerales disueltos como resultado de los distintos procesos, ya sea destilación, desionización o filtración de la membrana (osmosis reversa o nanofiltración), el total de sólidos disueltos en este tipo de agua puede variar, pero puede llegar a ser tan bajo como 1 mg/L. La conductividad eléctrica es por lo general menos de 2 ms/m y puede ser incluso más baja. (10)

Se han hecho diversas investigaciones de agua desmineralizada, enfocándose en dos problemas, uno sobre el beneficio o daño que puede traer a la salud el consumo de agua desmineralizada, pero en esta investigación no le daremos enfoque a ese tema en particular; el segundo es el mínimo de contenido deseable u óptimo de las sustancias relevantes (minerales) en el agua de consumo necesarios para consideraciones de salud. (10)

En una de las reuniones para preparar guías en la calidad del agua, la Organización Mundial de la Salud (OMS), consideró el problema de la composición mineral óptima. En el año de 1980 se publicó un informe final donde se recomienda el contenido del agua desmineralizada debe ser el siguiente:

- Un nivel mínimo de sales disueltas (100 mg/L)
- Ion Bicarbonato (30 mg/L)
- Calcio (30 mg/L)
- Un nivel óptimo para el total de sales disueltas (250-500 mg/L para cloruro de sulfato y bicarbonato.
- Un nivel máximo de alcalinidad (6.5 meq/l)
- Sodio (200 mg/L)
- Boro (0.5 mg/L)

Durante las últimas tres décadas, la desmineralización se ha convertido en una técnica ampliamente usada para proveer agua. En algunas regiones del mundo como Asia y Medio Oriente la mayor parte del agua de consumo es producida de esta forma. (10)

Respecto a Guatemala, el agua de cañería de la ciudad capital es agua potable, la cual se define como aquella que, por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la norma (COGUANOR NTG29001). Puesto que es el agua de cañería la que se empleará en la elaboración de los cilindros de yeso, se realizó un muestreo del agua de cañería para realizar un análisis físico-químico y ver cuáles son los elementos que posee. (16)

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el organismo nacional que se encarga de crear normas, las cuales se realizan a través de comités técnicos. En el caso de la norma COGUANOR acerca del agua potable es la COGUANOR NTG 29001. El objetivo de esta norma es establecer los valores que definen la calidad del agua potable.

Con el objetivo de tener un concepto más claro sobre los minerales que podrían afectar las propiedades mecánicas de las muestras del Yeso Piedra Tipo III y el Yeso Piedra Mejorado Tipo IV, se mandó a realizar un estudio físico-químico de aguas, tomando una muestra del grifo específico de donde se tomará el agua de cañería, la cual se envió al Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos LAFYM de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A continuación, se muestran algunas definiciones que brinda COGUANOR (16), que son necesarias para interpretar la normalización establecida:

- Agua apta para consumo humano (Agua potable)  
Es aquella que, por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la presente norma.
- Características físicas y organolépticas del agua:  
Son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio.
- Características químicas del agua:  
Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos orgánicos e inorgánicos
- Características microbiológicas del agua:

Son aquellas que se originan por presencia de microorganismos que determinan su calidad.

- **Cloro residual libre:**  
Parámetro que indica la concentración de cloro disuelto y químicamente disponible después de la cloración.
- **Límite Máximo Aceptable (LMA):**  
Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.
- **Límite Máximo Permisible (LMP):**  
Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.
- **Programa de análisis mínimo:**  
Los análisis en esta etapa de control son: a. Análisis microbiológico: coliformes totales y *Escherichia coli*; b. Análisis fisicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrogeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro total y manganeso total.
- **Programa de análisis complementario**  
Comprende la ejecución del programa de análisis mínimo, ampliado con: aluminio, cobre, arsénico, cadmio, cianuro, cromo total, mercurio total, plomo, selenio, cinc, sólidos totales disueltos y sustancias orgánicas (plaguicidas) que afecten la salud del consumidor.(16)

En el Cuadro No. 2, se puede observar las características sensoriales de relevancia para el estudio.

**Cuadro No. 2**  
**Características sensoriales del Agua Potable**

<b>Características</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
<b>Turbiedad</b>	5,0	<b>15,0UNT<sup>(a)</sup></b>
<b>Conductividad eléctrica</b>	UN	<b>1500</b>
<b>Potencial de hidrógeno</b>	T	<b>S/cm<sup>(c)</sup></b>
<b>Sólidos totales</b>	750	<b>6,5-</b>
	S/cm	<b>8,5<sup>(b)</sup></b>
<p><b>(a) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).</b></p> <p><b>(b) En unidades de pH.</b></p> <p><b>(c) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.</b></p>		

Fuente: (16)

Las características químicas del agua son aquellas que afectan la potabilidad del agua y pudieran interferir en las propiedades fisicomecánicas del yeso, de las cuales se enumera a continuación en el Cuadro No. 3, las de relevancia para el presente estudio.

**Cuadro No. 3**  
**Características sensoriales del Agua Potable**

<b>Características</b>	<b>LMA(mg/L)</b>	<b>LMP(mg/L)</b>
<b>Cloro residual libre</b>	<b>0,</b>	<b>1,</b>
<b>Cloruro(Cl<sup>-</sup>)</b>	<b>5</b>	<b>0</b>
<b>Dureza Total(CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>100,</b>	<b>250,</b>
<b>Sulfato (SO<sub>4</sub>)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Calcio(Ca)</b>	<b>100,</b>	<b>500,</b>
<b>Manganeso</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fuente: (16)

## 6.11 Clasificación del agua

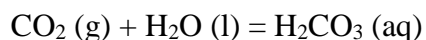
De acuerdo a la concentración de carbonatos contenidos en el agua, ésta puede clasificarse en niveles de dureza. El cuadro No. 4 indica las cantidades de carbonatos en partes por millón. (26)

**Cuadro No.4**  
**Niveles de dureza del agua de acuerdo a la cantidad de Carbonatos disueltos**

<b>Denominación</b>	<b>Ppm de CaCO<sub>3</sub></b>
<b>Muy suave</b>	0 – 15
<b>Suave</b>	16 – 75
<b>Medias</b>	76 – 150
<b>Duras</b>	151 – 300
<b>Muy duras</b>	Mayor a 300

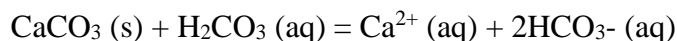
Fuente: (26)

La forma de dureza más común y problemática es la causada por la presencia de bicarbonato de sodio. (8) El agua la adquiere cuando la lluvia pasa por piedra caliza. Cuando el agua de lluvia cae disuelve dióxido de carbono del aire y forma ácido carbónico, por lo que se acidifica ligeramente:



En la ecuación anterior g= gas, l= líquido y aq= acuoso (i.e. disuelto en agua). En la siguiente ecuación s= sólido. (8)

El carbonato de sodio (CaCO<sub>3</sub>) no es muy soluble en agua, sin embargo, cuando el ácido diluido pasa por la piedra caliza reacciona formando bicarbonato de sodio (Ca (HCO<sub>3</sub>)<sup>2</sup>), que sí es soluble en agua:



Por lo tanto, el agua de lluvia toma iones calcio Ca<sup>2+</sup> y iones bicarbonato HCO<sup>3-</sup> y se vuelve dura. (8)

Cuando el agua dura se calienta las dos reacciones anteriores se revierten y se forma carbonato de calcio, agua y dióxido de carbono:



El carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es mucho menos soluble en agua que el bicarbonato de calcio ( $\text{Ca} (\text{HCO}_3)_2$ ) por lo que se precipita formando un sólido conocido como sarro, incrustaciones o incrustaciones de calcio. Como este tipo de dureza es fácil de remover se le conoce como dureza temporal. El sarro aparece por lo general alrededor de sistemas de agua caliente y elemento de calentamiento. Sin embargo, si el agua es extremadamente dura, se puede formar sarro en tuberías de agua fría.(8)

Otros tipos de dureza temporal son causados por la presencia de iones magnesio  $\text{Mg}^{2+}$  y la precipitación de hidróxido de magnesio ( $\text{Mg} (\text{OH})_2$ ) puede contribuir a los problemas de incrustaciones. La combinación de iones de calcio  $\text{Ca}^{2+}$  y magnesio  $\text{Mg}^{2+}$  con iones cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^{2-}$ ) se conoce como dureza permanente. Por ejemplo, en algunas áreas el sulfato de calcio  $\text{CaSO}_4$  puede causar una dureza considerable. La dureza permanente no puede ser removida hirviendo el agua. (8)

El término dureza total es usado para describir la combinación de dureza de magnesio y calcio. (8)

### **6.12 Dureza Total ( $\text{CaCO}_3$ )**

La dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos) y se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituyen un parámetro muy significativo en la calidad del agua.(26)

El calcio y el magnesio, que forman la dureza del agua, se hayan disueltos en el agua conjuntamente con otros iones como sodio, cloruro, nitrato, sulfato y bicarbonato. (8)

En forma particular, los iones que intervienen en la formación de las incrustaciones de cal son el calcio y el magnesio, así como el ion bicarbonato, los cuales presentan un equilibrio químico que veremos a continuación.(13)

El bicarbonato cálcico,  $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$ , y el magnésico,  $\text{Mg}(\text{CO}_3\text{H})_2$ , son solubles en agua y, por consiguiente, se hallan disueltos en ella en forma de iones; estos compuestos, no obstante, presentan un equilibrio químico que en determinadas condiciones puede conducir a la formación de un precipitado sólido de carbonato cálcico (en el caso del calcio), conocido como cal. (13)

Los estudios realizados durante años y por diferentes instituciones como la OMS, EPA, OSHA, etc. han llegado a la conclusión de que la dureza no tiene ningún efecto en la salud, y el consumo de agua con alta o baja dureza es irrelevante y no tiene consecuencias en la salud del consumidor en el corto, mediano o largo plazo, por lo tanto, la dureza es un estándar secundario. Ahora bien, en el presente estudio si puede llegar a tener relevancia por la manera en la cual el agua con mucha dureza puede llegar a interactuar con el yeso y los iones calcio.(16)

### **6.13 Problemas relacionados con la alta dureza del agua a nivel de industria**

La alta dureza causa la formación de incrustaciones en líneas de agua y tuberías con las que tiene contacto el agua. En casos extremos, estos depósitos pueden obstruir casi completamente las tuberías y deben sustituirse.

Los iones de calcio y magnesio reaccionan con los componentes del jabón y evitan su acción detergente. Si la dureza es alta, primero deberán reaccionar los estearatos del jabón con el calcio y el magnesio para formar precipitados de estearato de calcio y de magnesio y luego ya puede cumplir su función detergente. Esto obviamente conlleva a un mayor gasto de jabón en el lavado de la ropa. (16)

Las fibras de los tejidos de la ropa que se lava con agua de alta dureza resultan con pequeñas partículas o escamas que aparecen después del lavado y deben removerse con algún enjuague para que la ropa quede agradable al tacto.

Si la dureza es muy alta, también al usuario puede causarle problemas directos como irritación en la piel y comezón.

Los accesorios de baño y de cocina como llaves cromadas, regaderas, cuchillería, vajillas, etc. también se dañan con los depósitos de sarro que se forman cuando por ejemplo se lavan



con agua muy dura y cuando el agua se evapora queda una mancha de las sales residuales.(16)

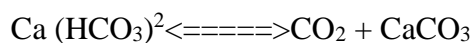
El agua adquiere la dureza cuando pasa a través de las formaciones geológicas que contienen los elementos minerales que la producen y por su poder solvente los disuelve e incorpora. El agua adquiere el poder solvente, debido a las condiciones ácidas que se desarrollan a su paso por la capa de suelo, donde la acción de las bacterias genera CO<sub>2</sub>, el cual existe en equilibrio con el ácido carbónico. En estas condiciones de pH bajo, el agua ataca las rocas, particularmente a la calcita (CaCO<sub>3</sub>), entrando los compuestos en solución.(21)

#### **6.14 Calcio (Ca)**

Normalmente el calcio forma sales generalmente solubles, con aniones como hidrógeno, carbonato, sulfato, cloruro y fluoruro. El calcio pasa al agua por disolución cuando proviene de sulfatos (especialmente yesos, muy solubles) y silicatos, o por la acción del CO<sub>2</sub> disuelto en el agua cuando se trata de Ca<sup>2+</sup> presente en calizas, margas y dolomitas. El aporte del metal al agua es muy notable en terrenos yesíferos, pudiendo también acceder a las aguas dulces mediante fenómenos de intrusión salina que también incrementaría la concentración de Mg<sup>2+</sup> en las aguas afectadas. (16)

Existe un equilibrio muy típico en aguas denominado "equilibrio carbónico" que establece una relación entre el hidrógenocarbonato de calcio soluble de un agua y el carbonato de calcio, éste en realidad es prácticamente insoluble, si bien se solubiliza por medio del CO<sub>2</sub> presente en aquella.(16)

El equilibrio químico es:



Este proceso reversible es de particular importancia en aguas potables e industriales, estando relacionado con el "pH del equilibrio" de un agua: en síntesis, se trata de que cada agua en función de su contenido en CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> / CO<sub>2</sub> tiene un valor típico de pH en el que es inerte desde el punto de vista de su poder de disolución de carbonato o deposición de éste. A este pH dado no producirá fenómenos de atascamiento o ataque corrosivo a tuberías. La formación de estalactitas y estalagmitas en cuevas calcáreas sigue esta

dinámica del agua: el agua subterránea rica en hidrógenocarbonato de calcio soluble, al perder el gas por efecto de la diferente presión parcial al ponerse el agua en contacto con el aire libre, propicia la precipitación del hidrógenocarbonato insoluble, y la consiguiente formación de estalagmitas y estalagmitas.(16)

El calcio junto al magnesio forma la "dureza" del agua. Las concentraciones de calcio en aguas varían mucho, pero en general suelen ir asociadas al nivel de mineralización; por esta misma razón, las aguas subterráneas habitualmente presentan contenidos mayores a las superficiales correspondientes. (16)

Las aguas residuales de diversas industrias generan un incremento del metal en el medio, debido a actividades tales como los prefabricados de la construcción (terrazo, fibrocemento, corte de piedras y canterías), industrias alimentarias (azúcar, ácido tartárico) y papeleras (cuando interviene el sulfato cálcico como carga).(16)

La presencia de Calcio en agua potable la dota de "sabor" que dependerá del anión mayoritario presente. Al mismo tiempo intervendrá en fenómenos de incrustación/agresión en tuberías y depósitos de almacenamiento de agua potable y en aguas destinadas a calderas industriales de particular importancia. (16)

### **6.15 Magnesio (Mg)**

El magnesio está presente en el agua de mar en concentraciones de 1300 ppm. Después del sodio, el magnesio es el catión que se encuentra en mayores proporciones en el océano. Los ríos contienen aproximadamente 4 ppm de magnesio, las algas marinas contienen 6.000-20.000 ppm, y las ostras alrededor de 1.200 ppm.

El magnesio y otros metales alcalinotérreos son responsables de la dureza del agua. En este sentido destaca la importancia del magnesio en la formación de incrustaciones calcáreas ya que habitualmente se tiende a asociar las incrustaciones (cal) únicamente con el calcio presente en el agua y generalmente todas las incrustaciones están constituidas por sales tanto de calcio como de magnesio. (16)

¿Por qué el magnesio está presente en el agua?

Un gran número de minerales contienen magnesio, por ejemplo, la dolomita (carbonato de calcio y magnesio,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) y la magnesita (carbonato de magnesio  $\text{MgCO}_3$ ). El magnesio se desprende de las rocas y va a parar al agua.

El magnesio tiene muchos propósitos y consecuentemente finaliza en agua de maneras muy distintas. La industria química añade magnesio a los plásticos y a otros materiales como una medida de protección contra el fuego o como material de relleno. También finaliza en el medio ambiente como fertilizante y como alimentación de ganados. El sulfato de magnesio se aplica en la industria de la cerveza, y el hidróxido de magnesio se aplica como floculante en plantas de tratamiento de aguas residuales. El magnesio es un ingrediente principal para la mayor parte de las enzimas. El calcio y el magnesio en muchas ocasiones realizan las mismas funciones en el cuerpo humano, y en muchos casos son antagónicos. El magnesio es también un laxante suave. Las aleaciones del magnesio se aplican en la construcción de coches y de aviones.

¿Cuáles son los efectos medioambientales de la presencia de magnesio en agua?

El magnesio es un mineral alimentario para todos los organismos excepto para los insectos. Es un átomo central de la molécula de la clorofila, y por lo tanto es una sustancia necesaria para la función fotosintética de las plantas. El magnesio no sólo se encuentra en el agua de mar sino también en ríos y agua de lluvia, y de esta forma se distribuye de forma natural en el medio ambiente.

La dureza del agua difiere de una región a otra, por lo tanto, la adición de ablandadores a los detergentes no es necesario en regiones que tienen aguas blandas. En regiones que tienen aguas de elevada dureza, deben aplicarse mayores cantidades de detergente, de esta forma se está añadiendo cierto poder ablandador. Como consecuencia, otras sustancias presentes en los detergentes se adicionan también en dosis más altas al aplicarse detergentes en grandes cantidades, esto hace que se compliquen los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Tres isótopos del magnesio se forman naturalmente, los cuales son estables y consecuentemente no radiactivos. También existen ocho isótopos inestables.

Las pautas que establecen el contenido máximo de magnesio en el agua potable son bastante relativas, ya que no se le atribuyen efectos negativos en seres humanos y en animales.

#### **6.16 Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Los sulfatos son compuestos que se encuentran presentes en el agua de forma natural, debido al lavado y la disolución parcial de materiales del terreno por el que discurre (formaciones rocosas compuestas de yeso principalmente y suelos sulfatados).

Se han encontrado altas concentraciones tanto en las aguas subterráneas como sometidas a contaminación antropogénica. Estos compuestos también pueden aparecer en el agua a través de los desechos y vertidos industriales y de los depósitos atmosféricos. (16)

Los sulfatos, tal y como aparecen en el agua de consumo, no son tóxicos, sin embargo, en muy grandes concentraciones, se ha observado un efecto laxante acompañado de deshidratación e irritación gastrointestinal. Estas aguas tienen un sabor amargo rechazable inmediatamente por los consumidores. Así pues, la presencia de sulfatos en el agua de consumo puede causar un sabor perceptible por el consumidor, umbrales de sabor (concentraciones en las que se percibe el sabor) oscilan entre 250 mg/l y 1000 mg/l según el tipo de sulfato asociado al sodio y calcio, respectivamente. Se considera que la alteración del sabor es mínima para concentraciones inferiores a 250 mg/l. (16)

#### **6.17 Manganeso total (Mn)**

El manganeso es un elemento reactivo que se combina fácilmente con los iones el agua y el aire. El manganeso se encuentra en una serie de minerales de diferentes propiedades químicas y físicas, pero nunca se encuentra como metal libre en la naturaleza. De forma similar al hierro no es problema para la salud. En combinación con el plomo puede colorear la ropa blanca. En las plantas de agua potable y en especial en los filtros de agua y conductos de distribución favorece el desarrollo de ciertos microorganismos. (16)

## **6.18 Agua destilada para elaborar el yeso**

Es bastante difícil encontrar definiciones claras de estándares para agua destilada, desmineralizada y desionizada. Probablemente el modo más fácil de familiarizarse con el tópico de producción de agua (ultra) pura es empezar por el método más antiguo y más conocido: la destilación. (16)

El agua destilada es agua que ha sido hervida en un aparato llamado “alambique”, y luego recondensada en una unidad enfriadora “condensadora” para devolver el agua al estado líquido. La destilación se usa para purificar el agua. (16)

Los contaminantes disueltos tales como sales se quedan en el tanque donde el agua hierve mientras que el vapor de agua se eleva hacia fuera. Puede no funcionar si los contaminantes son volátiles de forma que también hierven y recondensen, como si se tiene algo de alcohol disuelto.(16)

El agua destilada es aquella que fue sometida a un proceso de destilación, que consiste en hervir el agua y condensar el vapor en un recipiente que esté limpio, con el objetivo de obtener agua que se encuentra libre de impurezas. (19)

En el caso de emplear agua destilada en la mezcla del yeso es con el objetivo de evitar que el agua contenga elementos, ya sea minerales, o diferentes contaminantes que interactúen con los elementos del yeso e impedir que el producto posea propiedades inferiores a las que se necesiten en un yeso.

## **VII. Objetivos**

### **Objetivo General**

Encontrar diferencias en las propiedades físico-mecánicas del Yeso Piedra Tipo III y Yeso Piedra Mejorado tipo IV, utilizando agua destilada o agua de cañería.

### **Objetivos Específicos**

1. Determinar si existe variación en la temperatura de fraguado máxima al utilizar agua destilada o agua de cañería.
2. Determinar si existe variación en el tiempo de fraguado de la temperatura máxima al utilizar agua destilada o agua de cañería.
3. Determinar variación en la resistencia a la compresión al utilizar agua de cañería o agua destilada.
4. Determinar el grado de porosidad superficial en los modelos de yeso al utilizar agua de cañería o agua destilada.

## VIII. Hipótesis

**Ho:** No existe diferencia en resistencia a la compresión, tiempo y temperatura máxima de fraguado y porosidad superficial de los cilindros de yeso vaciados con agua desmineralizada y agua de cañería.

**Ha:** Existe diferencia en resistencia a la compresión, tiempo y temperatura máxima de fraguado y porosidad superficial de los cilindros de yeso vaciados con agua desmineralizada y agua de cañería.

## IX. Variables

### Independientes

Agua: de cañería y desmineralizada.

Polvo: de Yeso Tipo III y Yeso Tipo IV.

Prensa de Compresión: Instrumento utilizado para medir resistencia.

Termómetro de laboratorio: Instrumento utilizado para medir tiempo de fraguado.

Estereoscopio: Instrumento utilizado para medir porosidad.

### Dependientes

1. Resistencia a la compresión medida con prensa en libra por pulgada cuadrada (psi) desde que se coloca midiendo progresivamente hasta alcanzar punto de fractura.
2. El tiempo de fraguado midiendo el tiempo inicial en minutos (min), cada dos minutos después del vaciado de la mezcla hasta que alcance la temperatura máxima en un tiempo total de hora y media.
3. Grado de porosidad superficial medida en unidad de medición denominada campo por medio de un estereoscopio.

## **X. Metodología**

### **Equipo de Laboratorio Necesarios**

- Prensa Hidráulica de Compresión.
- Estereoscopio.
- Vibrador de Yeso.
- Balanza.
- Dos Termómetros de laboratorio.
- Probetas de laboratorio.

### **Materiales Necesarios**

- Yeso Piedra Tipo III Marca Zhermack.
- Yeso Piedra Tipo IV Marca Zhermack.
- Agua desmineralizada.
- Agua de Cañería.
- 60 Moldes de cartón piedra de papel toilette de forma cilíndrica de 0.1 cm de grosor, 10.4 cm de altura y 4.8 cm de ancho.
- Medidores de Yeso de la Marca Zhermack.
- Espátula para mezclar yeso.
- Dos Copas de Hule.
- 2 Recipientes Herméticos para almacenar yeso.

### **Métodos**

El presente estudio es un estudio experimental, correlacional transversal y prospectivo de alcance descriptivo (23) el cual consistirá en el análisis de cilindros de yeso vaciados con dos tipos distintos de agua.

Debido a que es un estudio piloto, y aspecto económico, se utilizó una muestra no probabilística por conveniencia. (6, 9,23) Consistente en una n= 15 que se estableció en un método refractario. (23)



A continuación, se presentan los métodos que se utilizaron. Las propiedades mecánicas definen la capacidad del material para resistir acciones externas o internas que implican la aplicación de fuerzas sobre el mismo. Se midieron tres características: el tiempo de fraguado, la resistencia a la compresión y grado de porosidad superficial.

Como se mencionó anteriormente los resultados obtenidos en los experimentos de resistencia a la compresión para un mismo material dependen de la forma y tamaño del material. Así, los prismas y cilindros cortos presentaron mayor grado de resistencia por lo que se utilizó como molde un tubo de cartón piedra de papel toilette o mayordomo.

Se elaboraron 30 cilindros de Yeso Piedra tipo III y 30 cilindros de Yeso Piedra Mejorado Tipo IV. Se utilizó una marca de yeso certificada con instrucciones de fabricante, para ambos tipos de yeso. Se preparó el yeso mezclando con las proporciones indicadas y utilizando los medidores de agua y balanza para medir la cantidad de polvo para el Yeso Piedra Tipo III y Yeso Piedra Mejorado Tipo IV. Para elaborar 100 gramos de polvo, los distintos tipos de yeso necesitan diversas proporciones de agua debido a que algunos cristales son más porosos que otros. (11) El Yeso Piedra Tipo III utilizó 29 a 30 cc/100gr, mientras que el Yeso Piedra Mejorado Tipo IV utilizó 22 a 24 cc/100 gr. De acuerdo con esta proporción, se elaboraron 15 cilindros de cada tipo de yeso con agua desmineralizada y 15 con agua de cañería. La cantidad estimada en gramos para vaciar por completo los moldes de cada cilindro fue de 350 gramos.

El yeso se almacenó previamente en un recipiente con cierre hermético para protegerlo de la humedad. Se agitó el recipiente previo a abrirlo para lograr una distribución uniforme de las partículas que se puedan formar y posean distinta granulometría de modo que permitió trabajar con un material homogéneo. Se pesó la cantidad en gramos anteriormente mencionada en una balanza electrónica; posteriormente el agua se midió con probetas de laboratorio. La espatulación del yeso se realizó de forma manual, colocando primero el agua y luego el polvo en una copa de hule y uniéndolas con una espátula para yeso. La espatulación fue rápida, a expensas del piso o fondo de la copa de hule. La mezcla se vibró golpeando suavemente la taza sobre la mesa y ayudándose con un vibrador de yeso, con el fin de desprender burbujas de aire y evitar así un modelo defectuoso.

Se continuó la espatulación hasta observar una mezcla homogénea de consistencia cremosa y sin grumos. El tiempo de espatulación fue de 45 a 60 segundos, y la temperatura del agua se mantuvo a temperatura ambiente entre 24 y 27 °C, para evitar alterar el tiempo de fraguado, acelerándolo o prolongándolo.

### **Temperatura de tiempo de fraguado**

El fenómeno de fraguado corresponde al entumecimiento o endurecimiento por cristalización de la pasta de yeso, cuya rapidez de desarrollo depende de la cantidad de agua empleada, del modo y el tiempo de mezclado, de la reactividad del yeso y de los modificadores utilizados.

La reacción química de fraguado va acompañada de una elevación de la temperatura y un ligero aumento de volumen. Esta reacción exotérmica puede elevar la temperatura hasta 20°C por encima de la temperatura ambiente.

El tiempo de fraguado idealmente se observa con agujas de Vicat, pero para fines de este estudio en el cual se observó la elevación de la temperatura producida por la reacción de fraguado, se obtuvo por medio de un termómetro de laboratorio. Los termómetros están diseñados para medir temperaturas dentro de rangos específicos con varios fines. El coeficiente de la expansión térmica describe como cambia el tamaño de un objeto con el cambio de temperatura. Cuando algo cambia la temperatura, se encoge o expande en tres dimensiones. En un termómetro de mercurio o de alcohol, el cambio en el volumen del fluido es lo importante. Específicamente, se calibra y se mide al cambio de volumen por grado en la temperatura a una presión constante. La expansión o contracción del tubo de vidrio y la reserva del líquido es insignificante, ya que los líquidos generalmente tienen un coeficiente de expansión térmica sustancialmente más grande que los sólidos. El fabricante calibra y marca el termómetro para que la parte superior de la columna del líquido (menisco) indique una lectura de temperatura precisa. Se tomaron dos medidas, una de tiempo fraguado inicial, hasta llegar a una temperatura máxima, y a partir de ese momento empezó a decrecer, por lo que se observó la segunda medida: el tiempo de fraguado final a partir de dicho momento. El tiempo se midió cada dos minutos durante una hora y media,

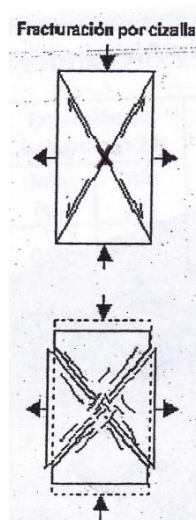
que es el tiempo de fraguado de los yesos e inició el cronómetro inmediatamente después de llenado o vaciado el yeso en el molde del cilindro. El tiempo se registró en una tabla para registro de la relación tiempo temperatura (Anexo 1).

### **Resistencia a la Compresión**

La resistencia a la compresión es la carga (peso) por unidad de área que el material falla (se rompe) por fracturación o cizalla extensional, en este caso, la resistencia a la compresión se mide en una prensa hidráulica proporcionada por el laboratorio de Físico Matemática de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que registra el esfuerzo compresor aplicado sobre un cilindro de yeso en una dirección del espacio y la deformación lineal inducida en esa misma dirección, a este procedimiento le llamaremos ensayo.

Se ensayaron 30 cilindros de Yeso Piedra Tipo III y 30 cilindros de Yeso Piedra Mejorado Tipo IV. 15 fueron elaborados con agua desmineralizada y 15 con agua de cañería respectivamente, manteniendo la tasa de aplicación de la carga constante en psi (libra por pulgada cuadrada por sus siglas en inglés), y colocando correctamente cada cilindro para asegurar una distribución homogénea del esfuerzo compresor.

Se sometió cada cilindro a los mismos esfuerzos progresivos y se observó y registró la deformación y puntos de fracturación catastrófica resultantes (Esquema 1), estos datos se registraron en una tabla de medición. (Anexo 2).

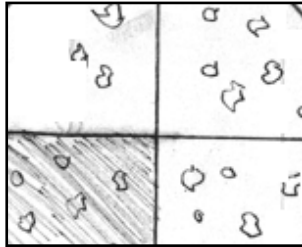


**Esquema 1.** Al momento de someter los cilindros a presión se observó la fractura por cizallamiento y al momento que alcanzó la fractura catastrófica se anotó en los respectivos instrumentos de medición.

### **Grado de porosidad Superficial**

Se observaron las porosidades de cada cilindro por medio de un estereoscopioproporcionado por el laboratorio de Histología de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este método permitió la visualización de estructuras como pliegues y fallas que de otro modo exigirían un complicado trabajo. Con este aparato se buscó crear una ilusión de 3 dimensiones que comenzó de imágenes de fragmentos del cilindro de yeso en 2 dimensiones. Fue el modo más fácil de crear la percepción de profundidad.

Los microscopios estereoscópicos suelen estar dotados, en cualquiera de sus variantes, de un sistema panorámico (zoom) o un sistema de cambiador de aumentos que permite observar la muestra en un rango de aumentos variable, siempre menor que el de un microscopio compuesto. Se midió la cantidad de agujeros o poros en una medida llamada campo. Como no era práctico recorrer toda el área, se contó el número de poros en unos cuantos campos microscópicos seleccionados al azar. Se hizo una medición en tres campos, estos campos se realizaron en una hoja de acetato, en una tabla de 3 x 3, cada cuadro con una medida específica de 1 mm por 1 centímetro. Estas tablas de acetato se colocaron en un pedazo de muestra resultante de la fractura catastrófica previa de cada cilindro, pegadas con tape transparente para que se pudiera tener visibilidad en el estereoscopio de las mismas, con el objetivo de tener resultados objetivos y de menor obstrucción visual. Se utilizaron 3 campos de la parte central de cada tabla de acetato. (Esquema 2).



**Esquema 2:** El cuadrado representa un campo. Se toma tres áreas (parte sombreada) y se hace en ella el conteo total de poros.

El microscopio estereoscópico es apropiado para observar objetos de tamaños relativamente grandes. Este tipo de microscopio permite unas distancias que van desde un par de centímetros a las decenas de ellos, desde la muestra al objetivo, esto lo hace muy útil en investigación, fundamentalmente en aplicaciones que requieren manipular el objeto visualizado (donde la visión estereoscópica es esencial).

### **Análisis Estadístico**

En el presente estudio se obtuvieron medias y desviación estándar para las propiedades de temperatura máxima de fraguado, y tiempo de fraguado, así como porosidad.

Para la propiedad de resistencia a la compresión se realizó además la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon, la cual es una prueba no paramétrica (27) para comparar el rango medio de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas.

Se utiliza para comparar dos mediciones relacionadas y determinar si la diferencia entre ellas se debe al azar o no, en lo que respecta a fractura inicial y fractura catastrófica.

## **XI. Recursos**

### **Humanos**

Dos estudiantes de Odontología:

-Pedro Pablo Arroyave.

-Josemanuel Trujillo.

### **Materiales**

Prensa de Compresión, Estereoscopio, Dos Termómetros de Laboratorio, Vibrador de Yeso, Agua de Cañería, un garrafón de agua desmineralizada, 15 kilos de Yeso Piedra Tipo III y 15 kilos de Yeso tipo IV, Copas de Hule, Espátulas para la mezcla de yeso, medidores de agua y yeso, balanza.

### **Tiempo**

El tiempo del trabajo de campo tuvo un tiempo estimado de dos meses.

### **Costo**

El instrumental es proporcionado por los practicantes, el equipo de laboratorio y los dos tipos de agua fueron proporcionados por la Facultad de Odontología, por lo que se tuvo únicamente un costo estimado de Q700 en la compra de 15 kilos de Yeso Tipo III y Yeso Tipo IV, y costos de análisis fisicoquímicos de muestras del agua de cañería y el agua desmineralizada.

### **Asesoría**

La asesoría de la presente investigación estuvo a cargo de los siguientes docentes de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala:

-Dr. Edwin Oswaldo López Díaz.

-Dra. Carmen Alicia Morales Castañeda.

## **XII. Resultados**

### **12.1 Presentación de Resultados**

Se realizó un estudio experimental, correlacional transversal y prospectivo de alcance descriptivo (22) el cual consistió en el análisis decilindros de dos tipos de yeso vaciados con dos tipos distintos de agua.

Debido a que fue un estudio piloto, y aspecto económico, se utilizó una muestra no probabilística por conveniencia de 60 cilindros de yeso.

Se elaboraron 30 cilindros de Yeso Piedra tipo III y 30 cilindros de Yeso Piedra Mejorado Tipo IV. Se utilizó una marca de yeso certificada (Zhermack) con instrucciones de fabricante, para ambos tipos de yeso.

De la muestra, 15 cilindros de cada tipo de yeso fueron vaciados con agua desmineralizada mientras que los 15 restantes fueron vaciados con agua de cañería previamente seleccionada. Este proceso se realizó con ambos tipos de yeso.

Se midieron tres características en los cilindros de yeso: temperatura del tiempo de fraguado, la resistencia a la compresión y el grado de porosidad superficial.

Primero se observó la elevación de la temperatura producida por la reacción de fraguado. Se realizó en el momento de vaciado utilizando un cilindro de distinta dimensión donde se colocaba el restante de cada mezcla realizada para no interferir en los cilindros originales, la temperatura se obtuvo por medio de un termómetro de laboratorio. Para la recolección de datos de esta propiedad se utilizó una ficha especial en la cual se anotó el número de cilindro previamente identificado, la cantidad de polvo en gramos y el líquido en mililitros, anotando la temperatura cada dos minutos desde el momento de vaciado hasta alcanzar los 90 minutos. (Anexo 1)

Posteriormente, los cilindros previamente vaciados, se colocaron en una prensa hidráulica para verificar la resistencia a la compresión. Para la recolección de datos de esta propiedad se utilizó una ficha especial, (Anexo 2) se colocó el número de cilindro, el tipo de agua y yeso con el que fue vaciado, los puntos de fractura inicial y los puntos de fractura catastrófica.

Para finalizar se tomó un pedazo de muestra resultante de la fractura catastrófica de cada cilindro para poder analizar en el estereoscopio la cantidad de poros. Se contó el número de poros en 3 campos microscópicos seleccionados al azar. Se realizó la medición en una hoja de acetato, cada cuadro con una medida específica de 1 mm de ancho por 1 cm de largo. Se utilizaron 3 campos de la parte central de cada tabla de acetato para hacer el conteo de poros.

Se anotó en una ficha especial (Anexo 3) el número de muestra de cilindro, el tipo de yeso, el tipo de agua, la cantidad de poros en el campo 1, cantidad de poros en el campo 2, cantidad de poros en el campo 3 y la sumatoria total de los tres campos.

**Cuadro No. 5**  
**Temperatura Máxima de fraguada alcanzada y Tiempo de temperatura máxima de fraguado en cilindros de Yeso Tipo III vaciados con agua de cañería y desmineralizada.**

<b>Yeso Tipo III</b>		
<b>Tipo de Agua</b>	<b>Temperatura máxima de fraguado %</b>	<b>Tiempo Temperatura máxima %</b>
<b>Cañería</b>	42.5 C°	18 min
<b>Desmineralizada</b>	41.6 C°	19 min

Fuente: Muestra de 30 Cilindros de yeso tipo III vaciados con agua desmineralizada (15 muestras) y de cañería (15 muestras).

Al analizar los datos de temperatura máxima alcanzada en tiempo de fraguado en Yeso Tipo III, vaciado con agua de cañería se encontró una media de 42.5 grados centígrados en un tiempo promedio de 18 minutos y 41.6 grados para cilindros vaciados con agua desmineralizada en un tiempo promedio de 19 minutos.

Al analizar la temperatura máxima alcanzada en cilindro vaciados con agua de cañería se encontró una desviación estándar de 0.32 y para cilindros con agua desmineralizada se encontró una desviación de 0.68. No existe diferencia en tiempo que alcanza la temperatura máxima ni tampoco temperatura máxima alcanzada.



**Cuadro No. 6**  
**Temperatura Máxima de fraguada alcanzada y Tiempo de temperatura máxima de fraguado en cilindros de Yeso Tipo IV vaciados con agua de cañería y desmineralizada.**

<b>Yeso Tipo IV</b>		
<b>Tipo de Agua</b>	Temperatura máxima de fraguado °C	Tiempo Temperatura máxima %
<b>Cañería</b>	41.8 C°	18 min
<b>Desmineralizada</b>	41.6 C°	17 min

Fuente: Muestra de 30 Cilindros de yeso tipo IV vaciados con agua desmineralizada (15 muestras) y de cañería (15 muestras).

Al analizar los datos de temperatura máxima alcanzada en tiempo de fraguado en Yeso Tipo IV, vaciado con agua de cañería se encontró una media de 41.8 grados centígrados en un tiempo promedio de 18 minutos y 41.6 grados para cilindros vaciados con agua desmineralizada en un tiempo promedio de 17 minutos.

Al analizar la temperatura máxima alcanzada en cilindro vaciados con agua de cañería se encontró una desviación estándar de 0.41 y para cilindros con agua desmineralizada se encontró una desviación de 0.65. No existe diferencia en tiempo que alcanza la temperatura máxima ni tampoco temperatura máxima alcanzada.

**Cuadro No. 7**  
**Fractura Inicial y Catastrófica en cilindros de Yeso Tipo III vaciados con agua de cañería y desmineralizada.**

<b>Yeso Tipo III</b>		
<b>Tipo de Agua</b>	Fractura Inicial %	Fractura Catastrófica %
<b>Cañería</b>	1900 psi	2100 psi
<b>Desmineralizada</b>	2400 psi	2700 psi

Fuente: Muestra de 30 Cilindros de yeso tipo III vaciados con agua desmineralizada (15 muestras) y de cañería (15 muestras).

Al analizar los datos de resistencia a la compresión en Yeso Tipo III, vaciado con agua de cañería se encontró una media de fractura inicial de 1900 psi y una media de fractura catastrófica de 2100 psi. Para cilindros vaciados con agua desmineralizada se encontró una media de fractura inicial de 2400 psi y una media de fractura catastrófica de 2700 psi.

De acuerdo a la prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon (27) y la interpretación de resultados que esta arroja se encontró una t de 54, de acuerdo a la tabla de valores t de Wilcoxon (27) con un nivel de significación de +/- 0.05 se obtiene un valor crítico de 25. Al ser menor indica que no existe diferencia en resistencia a la compresión al vaciar con agua desmineralizada o de cañería.

**Cuadro No. 8**  
**Fractura Inicial y Catastrófica en cilindros de Yeso Tipo IV vaciados con agua de cañería y desmineralizada.**

<b>Yeso Tipo IV</b>		
<b>Tipo de Agua</b>	Fractura Inicial %	Fractura Catastrófica %
<b>Cañería</b>	2700 psi	2800 psi
<b>Desmineralizada</b>	2800 psi	2900 psi

Fuente: Muestra de 30 Cilindros de yeso tipo IV vaciados con agua desmineralizada (15 muestras) y de cañería (15 muestras).

Al analizar los datos de resistencia a la compresión en Yeso Tipo IV, vaciado con agua de cañería se encontró una media de fractura inicial de 2700 psi y una media de fractura catastrófica de 2800 psi. Para cilindros vaciados con agua desmineralizada se encontró una media de fractura inicial de 2800 psi y una media de fractura catastrófica de 2900 psi.

De acuerdo a la prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon (27) y la interpretación de resultados que esta arroja se encontró una t de 51.6, de acuerdo a la tabla de valores t de Wilcoxon (27) con un nivel de significación de +/- 0.05 se obtiene un valor crítico de 25. Al ser menor indica que no existe diferencia en resistencia a la compresión al vaciar con agua desmineralizada o de cañería.

**Cuadro No. 9**  
**Sumatoria de Poros en cilindros de Yeso Tipo III vaciados con agua de cañería y desmineralizada.**

<b>Yeso Tipo III</b>	
<b>Tipo de Agua</b>	Sumatoria de Poros
<b>Cañería</b>	107 poros
<b>Desmineralizada</b>	96 poros

Fuente: Muestra de 30 Cilindros de yeso tipo III vaciados con agua desmineralizada (15 muestras) y de cañería (15 muestras).

Al analizar los datos de sumatoria de poros en campo de visión con Yeso Tipo III vaciado con agua de cañería se obtuvo una media de 107 poros y 96 poros con agua desmineralizada.

**Cuadro No. 10**  
**Sumatoria de Poros en cilindros de Yeso Tipo IV vaciados con agua de cañería y desmineralizada.**

<b>Yeso Tipo IV</b>	
<b>Tipo de Agua</b>	Sumatoria de Poros
<b>Cañería</b>	91 poros
<b>Desmineralizada</b>	82 poros

Fuente: Muestra de 30 Cilindros de yeso tipo IV vaciados con agua desmineralizada (15 muestras) y de cañería (15 muestras).

Al analizar los datos de sumatoria de poros en campo de visión con Yeso Tipo IV, vaciado con agua de cañería se obtuvo una media de 91 poros y 82 poros con agua desmineralizada.

**12.2 Discusión de Resultados**

Los resultados en este estudio fueron obtenidos por medio de análisis numérico obteniendo media y desviación estándar para cada tipo de propiedad analizada y comparando agua desmineralizada y agua de cañería con cada tipo de yeso, sin compararlos entre ellos ya que solo se busca verificar la influencia de cada tipo de agua en los yesos.

En estudios como el de Brukl et al. citado por Proenca, J. et al (18) en el cual se analizó la influencia de cuatro tipos de agua, dentro de las cuales se encuentran el agua desmineralizada y el agua de cañería en un yeso Piedra tipo III empleando aditivos para tiempo de fraguado y control de expansión de fraguado, se encontró diferencias, pero debido a los aditivos. En el presente estudio no se utilizaron aditivos.

Otros antecedentes como Twomey et al. citado por Proenca, J. et al (18), encontraron diferencias analizando la mezcla de yeso tipo V con agua que contenía diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio y se encontró que era necesaria una demanda más alta de agua para producir la misma consistencia del material que el grupo control, lo cual resultó en muestras con mayor porosidad.

Las muestras y material utilizado en este estudio no fueron alteradas con ningún elemento. Al momento de vaciado de los cilindros de yesos se realiza con la misma temperatura ambiente, los resultados obtenidos se dieron de manera uniforme en yesos vaciados con agua de cañería y desmineralizada

De acuerdo a estos resultados, las medias y tiempo en que alcanzaron temperatura máxima obtenidas en cuadros No. 5 y No. 6, además de la evidencia obtenida de manera observacional al momento de registrar esta propiedad se concluye que el aumento de temperatura se dio durante los primeros 20 minutos mostrando un descenso paulatino de la temperatura que puede llegar a demorar 40 minutos aproximadamente Sin embargo alcanzan temperaturas más altas al vaciar con agua de cañería que con agua desmineralizada, con ambos tipos de yeso lo cual es indicativo que el tipo de agua si es de influencia en el resultado final de la mezcla y puede dar lugar a un yeso más frágil y poroso.

Al analizar la temperatura máxima alcanzada en cilindros vaciados utilizando agua de cañería se encontró una desviación estándar de 0.32 en cilindros vaciados con Yeso Piedra Tipo III y una desviación estándar de 0.41 de cilindros vaciados con Yeso Piedra Mejorado Tipo IV.

No existe diferencia en tiempo que alcanza la temperatura máxima ni tampoco temperatura máxima alcanzada al utilizar agua de cañería.

Al analizar la temperatura máxima alcanzada en cilindros vaciados utilizando agua desmineralizada se encontró una desviación estándar de 0.68 en cilindros vaciados con Yeso Piedra Tipo III y una desviación estándar de 0.65 de cilindros vaciados con Yeso Piedra Mejorado Tipo IV.

No existe diferencia en tiempo que alcanza la temperatura máxima ni tampoco temperatura máxima alcanzada al utilizar agua desmineralizada.

Así mismo, se encontró en los cuadros No. 5 y No.6 que independientemente del tipo de agua utilizada el Yeso Piedra Mejorado IV tiende a presentar un aumento de temperatura durante el fraguado ligeramente mayores que el Yeso Piedra Tipo III resultados que pueden ser de relevancia para una investigación más específica comparando dos tipos de yeso.

También se comprobó que el aumento de temperatura en la etapa de fraguado es directamente proporcional a la cantidad de yeso que se mezcló, es decir, que mientras más yeso está fraguando más elevada será la temperatura que presenta durante la reacción.

De acuerdo a los cuadros No. 7 y No 8. se observó una diferencia en resistencia a la compresión tanto en fractura inicial como catastrófica, al utilizar agua de cañería el cilindro era menos resistente que al utilizar agua desmineralizada en ambos tipos de yeso.

Al analizar los datos de resistencia a la compresión en Yeso Piedra Tipo III, vaciado con agua de cañería se encontró una media de fractura inicial de 1900 psi y una media de fractura catastrófica de 2100 psi. Para cilindros vaciados con agua desmineralizada se encontró una media de fractura inicial de 2400 psi y una media de fractura catastrófica de 2700 psi.

Al analizar los datos de resistencia a la compresión en Yeso Piedra Mejorado Tipo IV, vaciado con agua de cañería se encontró una media de fractura inicial de 2700 psi y una media de fractura catastrófica de 2800 psi. Para cilindros vaciados con agua desmineralizada se encontró una media de fractura inicial de 2800 psi y una media de fractura catastrófica de 2900 psi.

Twomey et al., citado por Proenca J. et al (18) concluyeron en su estudio que existe en general un decremento en la fuerza compresiva y que el tipo de agua o en el caso de este

estudio el hipoclorito de calcio no afecta de manera significativa la resistencia a la compresión.

En el presente estudio de acuerdo a la prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon y la interpretación de resultados que esta arroja se encontró una  $t$  de 51.6, de acuerdo a la tabla de valores  $t$  de Wilcoxon(27) con un nivel de significación de  $\pm 0.05$  se obtiene un valor crítico de 25. Al ser menor indica que no existe diferencia en resistencia a la compresión al vaciar con agua desmineralizada o de cañería en Yeso Piedra Tipo III.

Tavarez et al. (25) examinó cuatro distintas marcas comerciales de Yeso Piedra Mejorado tipo IV y se someten a pruebas de compresión en el cual no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la fuerza compresiva de los materiales.

De acuerdo a la prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon (27) y la interpretación de resultados que esta arroja se encontró una  $t$  de 54, de acuerdo a la tabla de valores  $t$  de Wilcoxon con un nivel de significación de  $\pm 0.05$  se obtiene un valor crítico de 25. Al ser menor indica que no existe diferencia en resistencia a la compresión al vaciar con agua desmineralizada o de cañería en Yeso Piedra Mejorado Tipo IV. Es importante mencionar en relación a los cilindros de Yeso Piedra Mejorado Tipo IV que la partícula de yeso en este tipo de yeso es menor y tiene tendencia a menor porosidad.

Respecto a la porosidad superficial y medias obtenidas en cuadros No. 9 y No. 10 así como la evidencia observacional al momento de realizar las pruebas con estereoscopiose evidencia que en los cilindros vaciados con yeso Piedra Tipo III existe mayor cantidad de poros en cilindros vaciados con agua de cañería lo cual confirma de que si existe diferencia al usar distinto tipo de agua en el grado de porosidad superficial. Los cilindros vaciados con agua de cañería se obtuvo una media de 107 poros y 96 poros para los vaciados con agua desmineralizada.

Sin embargo, los cilindros vaciados con Yeso Piedra Mejorado tipo IV existe mayor cantidad de poros en cilindros vaciados con agua desmineralizada.

En cilindros vaciados con agua de cañería se obtuvo una media de 91 poros y 82 poros con agua desmineralizada.

Esta variante podría deberse a que existe menor cantidad de poros con agua de cañería, pero los poros eran de tamaño muy grande por lo cual producían unas deficiencias mucho más grandes. Con esta observación se confirma también con este tipo de yeso que si existe diferencia en el tipo de agua utilizada en el grado de porosidad superficial.

Además de esto y aunque no fue medido de manera específica se observa una mayor cantidad de deficiencias y yeso sin fraguar. El yeso sin fraguar es aquel que se observa de manera blanquecina que no llegó a mezclarse por completo con el agua y causa mayores deficiencias y en consecuencia mayor cantidad de poros en los cilindros en muestras de cilindros vaciados con agua de cañería con ambos tipos de yeso.

Debido a la falta de antecedentes y evidencia científica respecto al grado de porosidad superficial es recomendable establecer un método de medición más preciso donde también se pueda medir el tamaño de poros, así como las rajaduras y otro tipo de deficiencias que permita respaldar la información recabada en esta investigación.

De acuerdo a los datos y cálculos realizados en este estudio no existe diferencia significativa en las propiedades relacionadas a temperatura y resistencia a la compresión al ser vaciadas con dos distintos tipos de agua por lo que se comprueba la hipótesis nula propuesta, sugiriendo para un próximo estudio realizarlo con un número mayor de muestra y pruebas estadísticas que determinen si existe o no diferencia estadísticamente significativa.

### **XIII. Conclusiones**

1. Durante la elaboración de los cilindros, fue perceptible que el aumento de temperatura se da durante los primeros 20 minutos, mostrando un descenso paulatino de la temperatura que puede llegar a demorar 40 minutos aproximadamente.
2. No existe diferencia en tiempo que alcanza la temperatura máxima ni tampoco temperatura máxima alcanzada al utilizar agua de cañería y desmineralizada en ambos tipos de yeso.
3. Independientemente del tipo de agua utilizada el yeso tipo IV, tiende a presentar un aumento de temperatura durante el fraguado ligeramente mayor que el tipo III.
4. No existe diferencia significativa cuando se compara la resistencia a la compresión en ambos tipos de yeso empleando agua desmineralizada y agua de cañería. Sin embargo, fue evidente clínicamente que los cilindros tanto del yeso Piedra tipo III como el Piedra Mejorado Tipo IV, presentaron mayor resistencia a la compresión al emplear agua desmineralizada.
5. El yeso que se preparó con agua desmineralizada presentó una mayor cantidad de poros al evaluar las muestras en el estereoscopio, sin embargo, estos poros fueron marcadamente de menor cantidad, comparando las muestras con el yeso preparado con agua de cañería que presentó poros más grandes, pero en menor número. Esta variante es debido a que existe menor cantidad de poros con agua de cañería, pero los poros eran de tamaño muy grande por lo cual producían deficiencias mucho más grandes.
6. El yeso que se preparó con agua de cañería presentó una mayor cantidad de burbujas y yeso sin fraguar que el que se preparó con agua desmineralizada.



## **XIV. Recomendaciones**

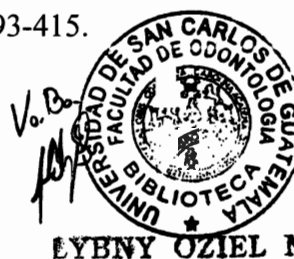
1. Se recomienda emplear agua desmineralizada para la preparación de yeso para los diferentes propósitos dentales.
2. Se recomienda tomar la temperatura ambiente puesto que la misma puede afectar en el tiempo de fraguado del yeso.
3. Para la óptima preparación del yeso es necesario reducir la intervención humana, es decir, emplear un mezclador de yeso al vacío para garantizar una espatulación adecuada.
4. Realizar este estudio con un número de muestra mayor para obtener resultados más precisos.
5. Realizar este estudio con modelos de yeso de pacientes para comprobar la expansión de fraguado.
6. En la evaluación de porosidad se recomienda medir además de la cantidad, el tamaño de los poros.
7. Utilizar este estudio de tesis como punto de partida para posteriores investigaciones con distintas propiedades físico-mecánicas de los yesos dentales.
8. Se recomienda realizar un estudio químico que compruebe que la presencia o ausencia de minerales afecta la dureza del agua desmineralizada y en consecuencia las propiedades del yeso al realizar la mezcla.

## **XV. Limitaciones**

- 1.** Dificultad para encontrar información sobre agua desmineralizada y su contenido físico y químico.
- 2.** Una de las principales limitantes en el trabajo de campo fue el aspecto económico, debido al costo del uso de yeso certificado.
- 3.** Es necesaria la utilización de un manómetro de glicerina con más grados que mida con más precisión la resistencia la compresión.
- 4.** Algunos cilindros presentaban muchos defectos en su vaciado por lo que fue necesario realizar nuevos.
- 5.** No existía un método ni instrumental de medición preciso para la observación de la cantidad de poros.
- 6.** Se emplea mucho tiempo en la medición de temperatura de los cilindros.

## XVI. Bibliografía

1. Anusavice, K.J. (2004). **Phillips ciencia de los materiales dentales**. 11<sup>a</sup> ed. España: Elsevier. pp. 255-280.
2. Ávila, J. y Alcon, G. (2013). **Yesos odontológicos (gypso)**. Rev. Act. Clin. Med. 30(2):1483-1487.
3. Cáceres, F. (1999). **Pruebas de resistencia a la compresión y calidad de superficie del yeso piedra y yeso piedra mejorado en distintas proporciones A/P**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista) Guatemala: Universidad Francisco Marroquín, Facultad de Odontología. 43 p.
4. Contreras, F.A. (2014). **Determinación de propiedades mecánicas en materiales odontológicos frágiles: Documento de apoyo para el curso de Físico Matemática**. Guatemala. Área Básica, Facultad de Odontología, Universidad de San Carlos de Guatemala. 12 p.
5. Díaz, P. (2014). **Estudio experimental sobre manipulación y propiedades físico-mecánicas de los productos derivados del yeso usados en odontología**. Tesis (Doctorado Cirujano Dentista). España: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Odontología. 151 p.
6. Explorable.com (2013). **Muestreo por conveniencia**. (en línea). España: Consultado el 27 de enero de 2017, Disponible en: <https://explorable.com/es/muestreo-por-conveniencia>
7. García Salas, K. M. (2000). **Cambios de exactitud en el modelo final para prótesis parcial removible utilizando diferentes proporciones agua/polvo de yeso piedra mejorado**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista) Guatemala: Universidad Francisco Marroquín, Facultad de Odontología. 48p.
8. González, B. (2013). **Dureza del agua**. (en línea). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Gestor de documentos. Consultado el 11 de septiembre de 2016, Disponible en: [http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/index.php/Dureza\\_del\\_Agua](http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/index.php/Dureza_del_Agua)
9. Kinneer, T. y Taylor, J. (1998). **Investigación de Mercados: Un enfoque aplicado**. 5ta. edición. México: McGraw-Hill. Cap. 13. Pp. 393-415.



60

23 ENE 2018

EYBNY OZIEL MEJIA

10. Kozisek, F. (2013). **Health risks from drinking demineralized water.** Cap. 12. (en línea). República Checa: National Institute of Public Health. Consultado el 14 de agosto de 2016, Disponible en:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/nutrientschap12.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/nutrientschap12.pdf)
11. López Díaz, E. (2014). **Yeso: documento de apoyo a la docencia.** Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Odontología. 3p.
12. Macchi, R.L. (2000). **Materiales dentales.** 3ª ed. Argentina: Médica Panamericana. 351p.
13. Marcó, J. (2016). **Formación de incrustaciones en agua** (en línea). España: Consultado el 10 de septiembre de 2016. Disponible en:  
<http://www.quimicadelagua.com/Conceptos.Procesos.Incrustacion.html>
14. Marques, M. et al. (2013). **Legal analysis of the information contained in dental plaster packs.** Braz. J. Oral Sci. 12 (3): 223-227.
15. Marquezan, M. (2012). **Does the contact of alginate with plaster cast influence its properties?** Braz Oral Res. 26 (3): 197-201.
16. MINECO (Ministerio de Economía). (1985). **Agua potable especificaciones.** Guatemala: El Ministerio. 15p.
17. Porras Soriano, A.; Marcilla Goldaracena, I. y Porras Piedra, A. (2000). **Transmisiones hidrostáticas: Tracción, compresión y esfuerzo cortante,** (en línea). España: UCLM. Consultado el 12 de junio de 2016. Disponible en: <https://www.uclm.es/profesorado/porrasyoriano/elementos/Tema01.pdf>
18. Proenca, J. et al. (2015). **Influence of different water types on the physical and mechanical properties of gypsum.** Braz. J. Oral Sci. 14 (3): 199-203.
19. **¿Qué es el agua destilada?** (2016). (en línea). s.d.e: Consultado el 17 de julio de 2016. Disponible en: <http://agua-destilada.net/>
20. Rodas, R. (1974). **Algunas consideraciones sobre yesos dentales y pruebas de laboratorio para determinar la resistencia a la compresión del yeso piedra, variando su técnica de mezcla.** Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Odontología. 37 p.



61  
23 ENE 2018

LYBNEY OZIEL MEJIA

21. Rodríguez, S. A.y Rodríguez, R. (2010). **Dureza del agua.** (en línea). Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca. Consultado el 11 de septiembre de 2016. Disponible en:[http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza\\_agua.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf)
22. Romeo Miranda, E. L. **Importancia de la fractura en diferentes aplicaciones de la geología.** (en línea). Cap. 3. Tesis (Lic. Ingeniero geólogo). México: UNAM, Facultad de Ingeniería. pp. 53–109. Consultado el 30 de mayo de 2016. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/109/A6.pdf?sequence=6>
23. Sampieri, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2010). **Metodología de la investigación.** 5ta.ed. México: McGraw Hill. 518 p.
24. Subhan, R. et al. (2016). **The effect of diverse water type on the water powder ratio of various dental gypsum products.** Pakistan Oral & Dental Journal. 36(2):331-334.
25. Tavarez, R. et al. (2014). **Influence of water/powder ratio in the mineral and synthetic casts.** Braz. J. Oral Sci. 13(3):225-228.
26. Valenzuela, T. (2004). **Exploración de posibilidades para proponer un tren de tratamiento para remoción de dureza que logre la optimización técnica y económica del proceso.**(en línea).Tesis (Lic. Ingeniero Químico). México: Universidad de Las Américas Puebla, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Alimentos.105 p. Consultado el 11 de septiembre de 2016. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/leip/valenzuela\\_m\\_td/portada.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/portada.html)
27. Wilcoxon, F. (1945). **Individual comparisons by ranking methods.** Biometrics Bulletin. 1(6):80-83.



## XVII. Anexos

### Anexo 1. Tabla para registro de la relación tiempo temperatura

El tiempo se medirá cada dos minutos y se iniciará cronómetro después de llenado el cilindro.

Número de Cilindro: \_\_\_\_\_

Proporción polvo/líquido

Polvo: \_\_\_\_\_ gramos Agua: \_\_\_\_\_ cc

Temperatura inicial del Yeso: \_\_\_\_\_ °C

Temperatura final del Yeso: \_\_\_\_\_ °C

Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura
0		30		60		82	
2		32		62		86	
4		34		64		88	
6		36		66		90	
8		38		68			
10		40		70			
12		42		72			
14		44		74			
16		46		76			
18		48		78			
20		50		80			
22		52		82			
24		54		84			
26		56		86			
28		58		80			



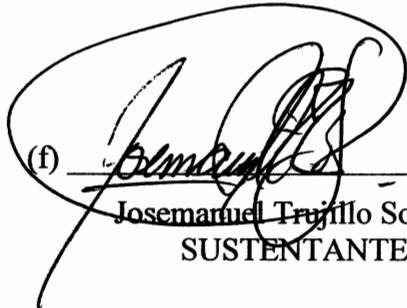


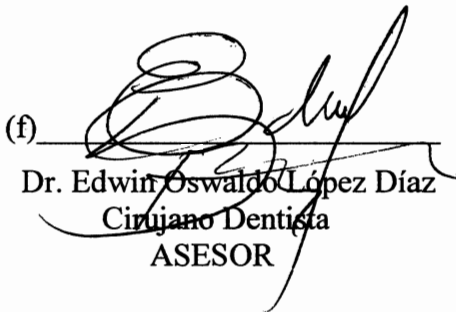


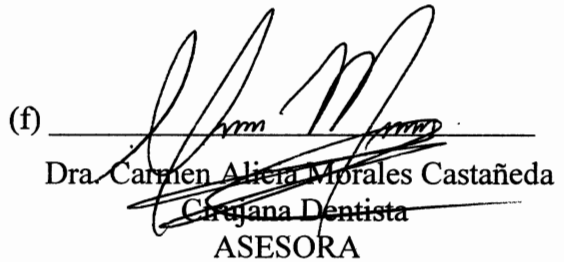
**El contenido de esta tesis es única y exclusiva responsabilidad del autor**

(f)   
Josemanuel Trujillo Solares

# FIRMAS DE TESIS DE GRADO


(f)   
Josemanuel Trujillo Solares  
SUSTENTANTE

(f)   
Dr. Edwin Oswaldo López Díaz  
Cirujano Dentista  
ASESOR

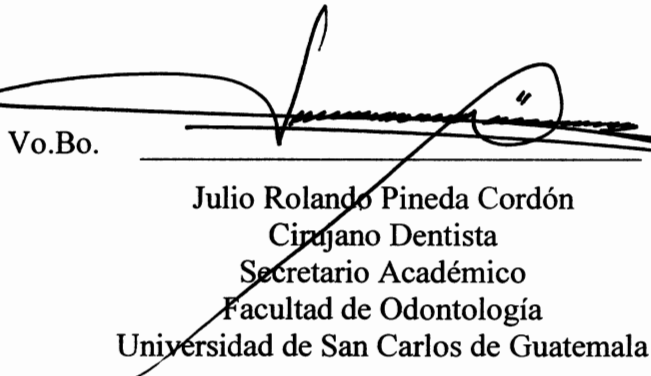
(f)   
Dra. Carmen Alicia Morales Castañeda  
Cirujana Dentista  
ASESORA

(f)   
Dr. Jorge Orlando Avila Morales  
Cirujano Dentista  
PRIMER REVISOR  
Comisión de Tesis



(f)   
Dr. Víctor Hugo Lima Sagastume  
Cirujano Dentista  
SEGUNDO REVISOR  
Comisión de Tesis

IMPRIMASE:

Vo.Bo.   
Julio Rolando Pineda Cordón  
Cirujano Dentista  
Secretario Académico  
Facultad de Odontología  
Universidad de San Carlos de Guatemala

