



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**INFLUENCIA DE LA PRESENTACIÓN EN LAS  
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UNA  
AMALGAMA DENTAL.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**CIRUJANA DENTISTA**

**P R E S E N T A:**

**MIREYA GUZMÁN MORA**

**TUTOR: Dr. CARLOS ANDRÉS ÁLVAREZ GAYOSSO**

**ASESORAS: MTRA. ALEJANDRA MORÁN REYES  
C. D. TERESA BAEZA KINGSTON**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) por el apoyo recibido para la conclusión de esta tesis: Videoteca y Manual de Procedimientos de las Normas 1, 27 y 96 de la Asociación Dental Americana. PAPIME-PE205009.

Agradezco a Dios por su amor reflejado en cada día de mi vida, por mis manos que son el instrumento mediante el cual puedo realizar mi profesión y por el entendimiento que me permitió concluir este trabajo.

Gracias a mis padres Tere y Pedro, por su gran apoyo en todos los sentidos, por ser mis guías en la vida, en una palabra por el amor que en cada momento me han dado. A ustedes dedico esta tesis.

Gracias a mi hermana Lety por su ejemplo, tus consejos, tus palabras de ánimo, por el apoyo a lo largo del tiempo en que realicé este trabajo y durante toda mi vida.

Gracias a mi hermano P. Azariel por su apoyo y comprensión a lo largo de mi vida, por tus palabras y por ser parte de la fuerza que me ayudó a concluir este trabajo.

Gracias a mi tutor, Dr. Carlos Andrés Álvarez Gayosso porque con su invaluable dirección, tiempo y valiosas enseñanzas, logré concluir esta tesis.

Gracias a mis asesoras, Mtra. Alejandra Morán Reyes y C. D. Tereza Baeza Kingston, por confiar en mí para realizar este proyecto, por todos sus consejos, palabras y valiosos conocimientos.

Gracias al Mtro. Jorge M. Palma, Mtro. Carlos A. Morales y Mtro. Rodrigo D. Hernández, por sus consejos, por el tiempo dedicado a la revisión de esta tesis y por sus acertadas correcciones.

Agradezco al Dr. Jesús Ángel Arenas Alatorre, coordinador operacional del Laboratorio Central de Microscopía del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México y al Dr. Carlos Magaña, por el apoyo recibido para llevar a cabo el análisis con microscopía electrónica de barrido.

Gracias a mis amigos del pasado y a los que forman parte de mi presente por ser hermosos motivos de alegría que me ayudan a luchar cada día por conseguir mis metas.



## ÍNDICE

Índice.....	5
Índice de Figuras.....	7
Índice de Tablas.....	8
1. Resumen.....	9
2. Introducción.....	10
3. Marco Teórico.....	11
3.1. Amalgama dental.....	11
3.1.1. Antecedentes históricos.....	11
3.1.2. Norma ADA correspondiente.....	12
3.1.2.1. Clasificación según la norma.....	12
3.1.2.1.1. De acuerdo a la presentación comercial.....	12
3.1.2.1.2. De acuerdo a la forma de la partícula.....	12
3.1.3. Composición de la amalgama dental.....	13
3.1.3.1. Mercurio.....	13
3.1.4. Clasificación según su composición.....	15
3.1.4.1. Aleaciones convencionales.....	15
3.1.4.2. Aleaciones con alto contenido de cobre.....	15
3.1.5. Reacción química.....	15
3.1.6. Manipulación.....	16
3.1.7. Ventajas de una restauración con amalgama.....	16
3.1.8. Desventajas de una restauración con amalgama.....	16
3.1.9. Presentaciones comerciales.....	17
3.1.9.1. Polvo.....	17
3.1.9.2. Tabletas.....	17
3.1.9.3. Cápsulas predosificadas.....	17
3.1.10. Propiedades físicas y mecánicas de las amalgamas.....	18
3.1.10.1. Resistencia a la compresión.....	19
3.1.10.2. Cambio dimensional durante el endurecimiento.....	19
3.1.10.3. Escurrimiento o creep.....	20
4. Microscopio Electrónico de Barrido (MEB).....	21
5. Planteamiento del problema.....	21

6. Justificación.....	22
7. Hipótesis.....	22
7.1. Hipótesis de trabajo.....	22
7.2. Hipótesis nula.....	22
8. Objetivos.....	22
8.1. Objetivo general.....	22
8.2. Objetivos específicos.....	23
9. Material y métodos.....	23
9.1. Trituración.....	24
9.2. Preparación de muestras.....	26
9.3. Resistencia a la compresión.....	28
9.4. Cambio dimensional durante el endurecimiento.....	29
9.5. Esguerramiento (creep).....	31
9.6. Análisis con Microscopía Electrónica de Barrido.....	32
10. Resultados.....	34
11. Discusión.....	44
12. Conclusiones.....	48
13. Referencias.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de polvo de aleación contenida en una cápsula predosificada. Aumento 500X. ....	35
<b>Figura 2.</b> Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de polvo de aleación contenida en una cápsula predosificada. Aumento 4000X.....	36
<b>Figura 3.</b> Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de la aleación en presentación de polvo. Aumento 500X.....	36
<b>Figura 4.</b> Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de partículas esféricas de la aleación en presentación de polvo. Aumento 4000X.....	37
<b>Figura 5.</b> Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de una partícula irregular de la aleación en presentación de polvo Aumento 4000X.....	37
<b>Figura 6.</b> Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de la aleación en presentación de tableta. Aumento 500X.....	38
<b>Figura 7.</b> Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de la aleación en presentación de tableta. Aumento 4000X.....	38



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Porcentaje de cada elemento contenido en la aleación en presentación de polvo.....	39
<b>Tabla 2.</b> Porcentaje de cada elemento contenido en la aleación en presentación de tableta. ....	39
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de cada elemento contenido en la aleación en presentación de cápsula predosificada. ....	40
<b>Tabla 4.</b> Valores promedio de la resistencia a la compresión a 60±2 min de las diferentes presentaciones.....	40
<b>Tabla 5.</b> Valores promedio de la resistencia a la compresión a 24±1 h de las diferentes presentaciones.....	41
<b>Tabla 6.</b> Valores promedio de cada presentación de aleación para amalgama dental.....	42
<b>Tabla 7.</b> Valores promedio de Cambio Dimensional de las diferentes presentaciones.....	42
<b>Tabla 8.</b> Valores promedio de Ecurrimiento de las diferentes presentaciones .....	43
<b>Tabla 9.</b> Resumen de resultados.....	44

## 1. RESUMEN

Se persiguieron dos objetivos: primero, elaboración de un audiovisual usando los métodos de prueba que indica la especificación No. 1 de la Asociación Dental Americana (ADA); segundo, observar si la presentación en cápsulas predosificadas muestra diferentes resultados, en comparación con presentaciones en polvo y tabletas de marca Permite®.

Se prepararon 30 muestras de amalgama con cada presentación, formando así tres grupos. 10 muestras de cada grupo se sometieron a prueba de resistencia a la compresión a 60 minutos; otras 10 se usaron para cambio dimensional durante el escurrimiento y éstas mismas, se emplearon en resistencia a la compresión a 24 horas; las 10 restantes se sometieron a prueba de escurrimiento.

Mediante análisis con Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) se observaron partículas de limadura y esféricas en cada presentación. Tras la prueba de resistencia a la compresión a 60 minutos, las muestras de la presentación en cápsulas predosificadas resistieron en promedio 204 MPa, las de las tabletas 189 MPa y las del polvo 227 MPa como esfuerzo máximo. A 24 horas, las muestras de la presentación en cápsulas predosificadas resistieron en promedio 466 MPa, las de las tabletas 390 MPa y las del polvo 455 MPa. Las muestras de la presentación preencapsulada mostraron en promedio -0.083 % de cambio dimensional, las de las tabletas -0.359 % y las del polvo -0.332 %. Las muestras de la presentación en cápsulas predosificadas tuvieron en promedio 0.417 % de escurrimiento, las de las tabletas 0.927 % y las del polvo 0.683 %.

## 2. INTRODUCCIÓN

La amalgama dental es un material de restauración empleado desde hace más de 150 años, principalmente, por sus propiedades mecánicas.

En un principio, las aleaciones para amalgama dental se comercializaban en forma de polvo; posteriormente se implementaron las aleaciones en tabletas o polvo comprimido a las cuales había que agregar el mercurio en la proporción especificada por el fabricante.

En la actualidad contamos con las cápsulas predosificadas, que contienen el mercurio y la aleación en una proporción adecuada y por medio de un equipo de mezclado denominado “amalgamador” se realiza la trituración de forma mecánica. Estas son preferidas, principalmente, por su característica de manipulación que evita el contacto directo con el mercurio.

A pesar de que hay diferentes presentaciones de aleación para amalgama dental, no existe suficiente información científica que mencione si éstas influyen en las propiedades físicas y mecánicas de restauraciones dentales hechas con una u otra presentación.

El presente estudio persiguió dos objetivos: el primero fue la preparación de un audiovisual usando los métodos de prueba que indica la especificación No. 1 de la Asociación Dental Americana (ADA)<sup>1</sup>; el segundo comprendió 2 pruebas mecánicas y una física usando el audiovisual para comparar la resistencia a la compresión, cambio dimensional y escurrimiento (creep), de tres presentaciones de aleación para amalgama dental (polvo, tabletas y cápsula predosificada), de una misma marca comercial. Brindando así un estudio científico que muestre si la presentación en cápsula predosificada ofrece o no ventajas en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas en comparación con las presentaciones de polvo y tabletas.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. AMALGAMA DENTAL**

La aleación para amalgama dental es una aleación en partículas finas, compuestas principalmente de plata, estaño y cobre, la cual cuando se mezcla con mercurio, produce una amalgama dental.<sup>2</sup>

##### **3.1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

Desde tiempos antiguos, los seres humanos han tratado de reponer sus piezas dentales perdidas, o reparar las que han sufrido algún daño. Es así como han utilizado diversos materiales para intentar restaurarlas desde piedras, huesos, resinas vegetales hasta diferentes metales.<sup>3</sup>

Durante el siglo XVI, la Odontología tuvo un enorme desarrollo. En Italia, Benvenuto Cellini inventó un método para fundir incrustaciones de oro que se utilizaron con fines odontológicos. Giovanni d'Arcoli o Johannes Arculanus (por su nombre en latín) fue reconocido por ser uno de los primeros en desarrollar un empaste dental, lo realizó mediante la reconstrucción dental con oro suave.<sup>3</sup>

En Francia, Pierre Fauchard (1678-1761), quien es llamado “el padre de la Odontología Moderna”, sugirió que en lugar de extraer un diente, se limpiara la cavidad enferma y luego se rellenara con algún material como el oro.<sup>3</sup>

Hyson<sup>4</sup> comenta que en 1805, en Francia, W. H. Peppys y Joseph Fox pensaron en la idea de fundir metales y llenar las cavidades de dientes afectados para reconstruirlos, sin embargo, el calor que se requería para fundir los metales fue incompatible con las condiciones bucales, lo que hizo a su idea imposible de ser aplicada.

En 1818, el Físico Louis Nicolas Regnard de París quien además se dedicaba a la Odontología, comenta Hyson<sup>4</sup>, logró crear la primera amalgama al mezclar una aleación de metales sólidos con una décima parte en peso de mercurio, superando con esto el problema del calor al fundir los metales.

Otro ejemplo mencionado por Hyson<sup>4</sup> es que en 1826, Auguste Taveau de París, tomó cinco monedas francesas que estaban hechas de plata con estaño y una pequeña cantidad de cobre e hizo limadura de estas piezas

metálicas, luego agregó mercurio para formar una pasta. Su máximo logro fue descubrir que la masa tenía plasticidad y un corto tiempo de fraguado gracias al estaño y al cobre de la aleación de las monedas.

Barceló <sup>5</sup> en su texto menciona que en 1826, Vardiman Black Green (llamado “el padre de la Odontología”), realizó los primeros estudios científicos sobre las amalgamas que brindaron valiosa información en cuanto a las proporciones de los metales, tiempo de mezclado y manipulación para poder emplearlas como material de restauración dental. Además en sus estudios, menciona las diferentes propiedades físicas que brinda la amalgama dental.

A lo largo del tiempo, se han realizado cambios en la amalgama dental, principalmente en su composición y presentaciones comerciales. Ha cambiado sus condiciones de manipulación a favor de la salud y seguridad del odontólogo, el personal auxiliar, el paciente y la comunidad en general.<sup>6</sup>

### **3.1.2. NORMA ADA CORRESPONDIENTE**

La norma que corresponde a las amalgamas dentales es la No. I de la Asociación Dental Americana<sup>2</sup> ya que son el producto con mayor antigüedad en el mercado y el primero con estudios científicos.<sup>5</sup>

Gracias a esta especificación, la gran mayoría de las amalgamas que se encuentran en el mercado cumplen con estándares de buena calidad, por lo que se menciona que las fallas observadas no deben atribuirse al material propiamente dicho, sino a factores como la manipulación.<sup>7</sup>

#### **3.1.2.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA NORMA**

3.1.2.1.1. De acuerdo con la presentación comercial de la aleación:

- Tipo I. En forma de polvo.
- Tipo II. En forma de tabletas.<sup>5</sup>

3.1.2.1.2. De acuerdo a la forma de la partícula:

- Clase 1. Partícula de limadura, irregular o prismática.
- Clase 2. Partícula esférica.

Es una forma que brinda características especiales a la aleación.

Se obtiene por medio de varios procesos, pero la técnica más conocida se conoce como “atomización”, de la aleación fundida.<sup>7</sup>

- Clase 3. Mezcla de las dos (limadura y esférica).<sup>5</sup>

### **3.1.3. COMPOSICIÓN DE LA AMALGAMA DENTAL**

El primero en brindar una relación entre la cantidad de los metales que componen a la aleación fue Vardiman Black Green, quien estableció tres partes de plata y una parte de estaño, esta relación ha tenido eficacia comprobada como proporción básica de los ingredientes principales en diversos estudios científicos.<sup>7</sup>

El reactivo líquido para una amalgama dental siempre es el mercurio químicamente puro.

Las aleaciones para amalgama dental han pasado por varios cambios y modificaciones en su composición, aunque la plata, el estaño y el cobre son los metales que principalmente componen esta aleación, algunas veces se agregan otros metales en menor cantidad para obtener ciertas características en la amalgama.

Se han agregado otros elementos metálicos como el Zinc, el Indio y el Paladio, con el propósito de inhibir la tendencia corrosiva de la aleación. Sin embargo, no está suficientemente claro su papel en las propiedades mecánicas de las amalgamas que los contienen.<sup>8</sup>

El cobre, por su parte, agregado en altas cantidades en lugar de la plata (que es un metal muy expansivo) contribuye a mejorar algunas propiedades de la aleación final y elimina algunas de las fases indeseables de la microestructura como lo es la fase  $\gamma_2$ .<sup>8</sup>

La Especificación No. 1 de la Asociación Dental Americana para aleación para amalgama dental menciona, entre otros puntos, los límites de composición y la prohibición de incluir metales dañinos como el plomo en las aleaciones para amalgama dental.<sup>2</sup>

#### **3.1.3.1. MERCURIO**

Hg es el símbolo químico del mercurio.<sup>3</sup>

La palabra proviene del griego *hydrargyros*, que significa “agua” y “plata”, por su color blanco plateado y su propiedad física de ser líquido a temperatura ambiente. Sin embargo, es un metal denso, en el que flotan muchos de los otros metales.<sup>3</sup>

Está presente en la naturaleza, se extrae por la condensación del vapor de mercurio en las minas del metal.<sup>3</sup> Es emitido al aire por una variedad de fuentes, luego se dispersa y traslada hasta almacenarse en los compartimentos ambientales (agua, suelo y atmósfera) o se redistribuye entre ellos.<sup>9</sup> Se evapora con facilidad y puede permanecer en la atmósfera hasta un año.<sup>10</sup>

Es un metal conocido desde la antigüedad en China y la India, se usaba para ayudar a sanar fracturas, tener buena salud y hasta se creía que prolongaba la vida. En Egipto fue encontrado en tumbas del año 1500 A. C.<sup>3</sup>

En Egipto y Roma, el mercurio fue usado como cosmético, en Grecia, lo usaron como ungüento.<sup>3</sup>

El mercurio es el metal de mayor contenido en la amalgama dental. Su propiedad de ser líquido a temperatura y presión ambiente, brinda la posibilidad de mezclarlo con la limadura y así formar una masa plástica que puede ser condensada en una cavidad dental.

Sin embargo, desde hace muchos años, se sabe que el mercurio es un metal tóxico que causa diversos problemas en los seres vivos.<sup>6</sup> El metilmercurio, que es su forma más tóxica, se puede acumular en el tejido de los peces.<sup>10</sup>

A temperatura ambiente, el mercurio se evapora parcialmente formando “vapor de mercurio” que es incoloro e inodoro. En cuanto más alta sea la temperatura, más vapor libera.<sup>9</sup>

Por absorción cutánea es perjudicial pero por inhalación puede llegar a ser mortal. El vapor de mercurio pasa a la sangre a través de los pulmones en un 80% aproximadamente y puede llegar a causar efectos perjudiciales en los sistemas nervioso, digestivo, respiratorio e inmunitario, así como provocar daño en los riñones y pulmones.<sup>10</sup> Algunos estudios mencionan que también puede causar daño a nivel ocular.<sup>6</sup>

Cabe mencionar que la Especificación No. 1 de la Asociación Dental Americana para aleación para amalgama dental, cubre solamente las aleaciones encapsuladas.<sup>2</sup>

### **3.1.4. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU COMPOSICIÓN**

#### **3.1.4.1. ALEACIONES CONVENCIONALES**

Contienen un máximo de 6% de cobre.<sup>5</sup>

Para su fabricación se funde un máximo de 6% de cobre, aproximadamente 73.6% de plata y el resto de estaño; se crea un cilindro y mediante un torno, se obtiene limadura por desgaste; para pulverizar la limadura se pasa por un molino de bolas y se obtienen partículas pequeñas e irregulares.<sup>5</sup>

#### **3.1.4.2. ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE COBRE**

Contienen más del 6% de cobre. Pueden ser de dispersión o unicomposicional.<sup>5</sup>

Las de dispersión se obtienen al mezclar partículas esféricas de una aleación eutéctica de plata-cobre con partículas de una aleación convencional. Las unicomposicionales reciben este nombre porque todas sus partículas son obtenidas a partir de una aleación de plata, estaño y cobre.<sup>5</sup>

### **3.1.5. REACCIÓN QUÍMICA**

Durante el proceso de fabricación de la aleación para amalgama dental, la plata y el estaño forman la fase  $\gamma$  (gamma,  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ ).<sup>7</sup>

El fraguado o endurecimiento de la amalgama se da por la formación de diversas fases durante las cuales la amalgama va endureciendo por cristalización.<sup>7</sup>

La plata reacciona con el mercurio y forma la fase  $\gamma_1$  ( $\text{Ag}_2\text{Hg}_3$ ); el estaño y el mercurio reaccionan para formar la fase  $\gamma_2$  ( $\text{Sn}_{7-8}\text{Hg}$ ).<sup>7</sup>

Si se trata de una aleación con alto contenido de cobre, la fase  $\gamma_2$  se presentará en menor cantidad. El cobre y el estaño formarán la fase  $\eta$  (eta,  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ).<sup>7</sup>



### **3.1.6. MANIPULACIÓN**

Como el mercurio es líquido a temperatura ambiente, se alea con otros metales que se hallan en estado sólido, a este proceso se le conoce como “amalgamación”. El producto es una masa plástica que mediante un proceso denominado “condensación”, es colocada en una cavidad dental con la ayuda de instrumentos especiales.<sup>7</sup>

### **3.1.7. VENTAJAS DE UNA RESTAURACIÓN CON AMALGAMA**

La amalgama dental es un material de restauración económico, requiere de poco tiempo de trabajo y es de fácil manipulación.<sup>5</sup>

El éxito clínico de este material se ha comprobado en diversos estudios científicos, sin duda una prueba irrefutable ha sido su empleo por más de 150 años y su continua aplicación en nuestros días.<sup>8</sup>

La microfiltración es un peligro que amenaza a las restauraciones dentales. Uno de los motivos más importantes por el que se recurre al empleo de la amalgama es su tendencia a disminuir la filtración marginal. Si se realiza una adecuada restauración, pareciera que la filtración disminuye, siendo este un fenómeno único en su género.<sup>7</sup>

Se cree que los productos de corrosión de la amalgama se van depositando en la interface diente-amalgama, donde además se recogen otros residuos del medio bucal, creándose una barrera que impide la filtración.<sup>7</sup>

### **3.1.8. DESVENTAJAS DE UNA RESTAURACIÓN CON AMALGAMA**

La principal desventaja del empleo de este material es sin duda que carece de estética por su color plateado, por lo que se cree que la amalgama será sustituida por otros materiales de mayor estética.

Al igual que muchos otros materiales de restauración, la amalgama no tiene adhesión específica al diente, lo que ocasiona recidivas de caries y fracasos. En algunas ocasiones se han utilizado barnices cavitarios para aminorar la filtración alrededor de la restauración.<sup>7</sup>

En el consultorio dental, las principales fallas se observan como recurrencia de caries, pigmentación, corrosión, cambio dimensional y fracturas. El principal factor al que se atribuyen estas fallas es el tallado inadecuado de la cavidad. Las fracturas se pueden presentar por someter la restauración a cargas prolongadas.<sup>8</sup>

### **3.1.9. PRESENTACIONES COMERCIALES**

#### **3.1.9.1. POLVO**

Desde que la amalgama se comercializó, el odontólogo ha podido adquirirla en forma de limadura pulverizada, que se obtiene de un lingote que ha sido colado.<sup>7</sup>

#### **3.1.9.2. TABLETAS**

La aleación para amalgama dental puede ser adquirida en forma de tabletas que se obtienen al comprimir determinada cantidad de aleación en polvo. Las partículas de la aleación son sometidas a presión que forma una “capa” externa y en el interior mantiene a las partículas con cierta cohesión entre ellas para conformar la tableta. Al momento de la trituración esta cohesión se rompe y la limadura puede ser mezclada con el mercurio.<sup>7</sup>

#### **3.1.9.3. CÁPSULAS PREDOSIFICADAS**

En la actualidad es la presentación comercial más recomendada para colocar una amalgama dental.

Cada cápsula está hecha de plástico y viene cerrada, ya que en su interior contiene el mercurio y la aleación previamente dosificados de acuerdo a la proporción recomendada por el fabricante.<sup>7</sup>

Se pueden encontrar clasificadas por número (1, 2 y 3) de acuerdo a las porciones que contengan en su interior. La número uno contiene una porción, es decir, la cantidad de aleación y mercurio suficientes para restaurar una cavidad mediana.<sup>7</sup>

Dentro de las cápsulas, el mercurio se halla separado de la aleación por medio de una membrana. A las cápsulas más antiguas era necesario activarlas antes de la trituración para que la membrana se rompiera y los reactivos entraran en contacto, actualmente existen cápsulas autoactivables que realizan este paso durante la trituración en el amalgamador.<sup>7</sup>

### **3.1.1.0. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS AMALGAMAS**

Cada paso preparatorio desde el momento en que se talla la cavidad hasta que se pule la restauración, produce un efecto definido en las propiedades físicas y químicas de la amalgama y en el éxito o el fracaso de la restauración.<sup>7</sup>

No cabe duda que la manipulación de la amalgama por el odontólogo es un factor importante en las propiedades finales de este material.<sup>7</sup>

Las especificaciones internacionales proponen la resistencia compresiva, el cambio dimensional y el escurrimiento (creep) como los parámetros más apropiados para evaluar la amalgama dental desde un punto de vista mecánico.<sup>8</sup>

Por otra parte, los estudios de durabilidad clínica parecen evidenciar que la composición de la aleación tiene una marcada influencia en las propiedades mecánicas, particularmente en la dureza.<sup>8</sup>

Tanto el escurrimiento como la resistencia compresiva son considerablemente afectados por la composición.<sup>7</sup>

En cuanto a las propiedades mecánicas que debe tener una amalgama dental, la norma No. 1 de la ADA especifica que el valor de la fluencia debe ser máximo de 1.00% y los valores mínimos para la resistencia a la compresión después de una y 24 horas deben ser de 80 y 300 MPa respectivamente. En cuanto al cambio dimensional, que es una propiedad física, puede presentarse entre un rango de -0.15 a +0.2%. Sin embargo, cabe mencionar que dicha norma solamente cubre a las aleaciones encapsuladas.<sup>2</sup>

### **3.1.10.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

La resistencia se mide bajo una carga de compresión.<sup>7</sup>

La resistencia suficiente para impedir la fractura es un requisito fundamental de todo material de restauración. La fractura, aunque sea de una zona pequeña, o el desgaste de los márgenes, acelera la corrosión, la recidiva de caries y el fracaso clínico.<sup>7</sup>

Por esta razón, hay que diseñar adecuadamente la cavidad para proporcionar cierto volumen de amalgama si se han de soportar fuerzas y para evitar bordes delgados de amalgama en las zonas marginales. Además, la amalgama propiamente dicha debe ser manipulada de tal manera que se asegure la resistencia adecuada.<sup>7</sup>

### **3.1.10.2. CAMBIO DIMENSIONAL DURANTE EL ENDURECIMIENTO**

Una de las mediciones de rutina en la amalgama dental es el cambio dimensional durante el fraguado. Se expande o se contrae, según sea su composición y preparación.<sup>7</sup>

Se ha aceptado que una amalgama dental se expande levemente durante el endurecimiento. La expansión excesiva puede producir la protrusión de la restauración de la cavidad tallada y se puede afirmar que la contracción indebida aumenta la filtración alrededor de la restauración.<sup>7</sup>

Por lo general, se usa una muestra de 8 mm de longitud y 4 mm de diámetro para medir los cambios en las dimensiones. Se considera que este volumen de amalgama es equivalente al de una restauración dental grande.<sup>7</sup>

### **TEORÍA DEL CAMBIO DIMENSIONAL**

La composición y constitución de la amalgama surten efecto en los cambios de dimensión que se producen durante el endurecimiento.<sup>11</sup>

En toda reacción, el mercurio es absorbido por las limaduras y ocurre una contracción inicial. Cuando la manipulación es correcta, su cantidad se limita a unos pocos micrones.<sup>11</sup>

El paso siguiente es la formación de las fases  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ . Cuando estas fases cristalizan, presumiblemente crecen en forma de dendritas. A medida que crecen éstas ejercen presión hacia afuera, la cual se manifiesta en la expansión.<sup>11</sup>

La densidad de la amalgama después de la condensación impide en cierta medida la contracción. Las partículas de aleación que no reaccionan pueden hallarse en mutuo contacto en diversas zonas; así se forma un armazón que tiende a resistir la contracción.<sup>11</sup>

De todas maneras, el crecimiento cristalino de las fases  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ , anula la contracción; comienza una expansión que continúa varias horas, o hasta que se completa la cristalización. Finalmente, el mercurio libre restante se difunde hacia las partículas de fase y se produce una segunda contracción.<sup>11</sup>

Todas las variables correspondientes a la manipulación de la amalgama determinan el cambio de dimensiones finales de la restauración endurecida. Es imposible conseguir el control completo de todas estas variables. En realidad, incluso en los ensayos de laboratorio es difícil regular estas variables en forma adecuada para asegurar resultados reproducibles. Las fluctuaciones pequeñas de los cambios de dimensiones pueden no tener importancia clínica, pero hay que evitar la expansión o contracción excesiva.<sup>11</sup>

Diversos son los factores que ejercen influencia en los cambios de dimensiones de la amalgama durante el fraguado, como es el caso de la relación mercurio-aleación, la trituración, la condensación, el tamaño de las partículas y la contaminación.<sup>7, 11</sup>

### **3.1.10.3. ESCURRIMIENTO O CREEP**

La amalgama fluye o presenta escurrimiento bajo una carga comparativamente liviana. Puede deberse a su incapacidad para endurecerse por deformación.<sup>7</sup>

Cuando un metal se halla bajo una carga, inmediatamente experimenta una deformación plástica y después realiza adaptaciones plásticas en su estructura interna. Así, cuando se coloca la amalgama bajo una carga estática, presenta esa deformación muy por debajo de su límite proporcional.<sup>7</sup>

#### **4. MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (MEB)**

El microscopio electrónico de barrido (MEB) es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de materiales orgánicos e inorgánicos incluyendo metales y aleaciones.<sup>12, 13</sup>

Tiene sus inicios desde la década de los 40's, cuando M. Von Ardenne introdujo un sistema de barrido en un Microscopio Electrónico de Transmisión. En los años 60 se comercializaron los primeros MEB. En la década de los 70 se produjeron diferentes mejoras, sobre todo en las lentes de los microscopios, así como en el desarrollo de diferentes sistemas de detección.<sup>14</sup>

En 1986 surge la Microscopía electrónica de barrido controlada mediante computadora. Siempre se había considerado necesario observar las muestras al vacío, pero desde finales de los 80 y sobre todo en los 90 surgen otras opciones.<sup>14</sup> Con MEB se pueden realizar estudios de los aspectos morfológicos de zonas microscópicas de un material, además del procesamiento y análisis de las imágenes obtenidas. Las principales utilidades del MEB son su alta resolución, la gran profundidad de campo que le da apariencia tridimensional a las imágenes y la sencilla preparación de las muestras.<sup>12</sup>

Gracias al Espectrómetro de Dispersión de Energía de rayos X (EDS) y a través del microscopio electrónico de barrido, se puede identificar la distribución cuantitativa y cualitativa de elementos químicos en la muestra que se analiza. Se obtienen imágenes relacionadas con la distribución de los elementos. La información de la señal se puede obtener de dos formas gráficas: 1) Perfiles de línea que permiten identificar gráficamente la variación de uno o varios elementos entre dos puntos; y 2) Mapas de RX que sirven para ver gráficamente la distribución de los elementos en la zona seleccionada.<sup>13</sup>

#### **5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, en México, no existe suficiente información científica que mencione si las diferentes presentaciones de aleación para amalgama dental, influyen en las propiedades físicas y mecánicas de restauraciones dentales hechas con una u otra presentación.

## **6. JUSTIFICACIÓN**

La mayoría de las restauraciones con amalgama dental que se colocan actualmente, son realizadas a partir de aleaciones en presentación de cápsulas predosificadas; sin embargo, restauraciones más antiguas de amalgama dental fueron hechas a partir de aleaciones en presentaciones de polvo o tabletas, de hecho, en algunos lugares del país se siguen empleando, principalmente por su bajo costo. Por lo que es importante conocer si existen diferencias entre las propiedades físicas y mecánicas que ofrecen una u otra presentación.

## **7. HIPÓTESIS**

### **7.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

La presentación en cápsulas predosificadas para amalgama dental, presentará diferentes resultados en las pruebas de resistencia a la compresión, cambio dimensional durante el endurecimiento y escurrimiento (creep), en comparación con las presentaciones en polvo y tabletas.

### **7.2. HIPÓTESIS NULA**

La presentación en cápsulas predosificadas para amalgama dental, no presentará diferentes resultados en las pruebas de resistencia a la compresión, cambio dimensional durante el endurecimiento y escurrimiento (creep), en comparación con las presentaciones en polvo y tabletas.

## **8. OBJETIVOS**

### **8.1. OBJETIVO GENERAL**

Comparar propiedades físicas y mecánicas de una amalgama dental comercial (Permite®) en sus presentaciones de polvo, tableta y cápsula predosificada.

## 8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar la prueba de resistencia a la compresión de la aleación Permite® en presentación de polvo, tableta y cápsula predosificada, obtener los valores y calcular los resultados a 1 y 24h.

Realizar la prueba de cambio dimensional durante el endurecimiento de la aleación Permite® en presentación de polvo, tableta y cápsula predosificada, obtener los valores y calcular los resultados.

Realizar la prueba de escurrimiento (creep) de la aleación Permite® en presentación de polvo, tableta y cápsula predosificada, obtener los valores y calcular los resultados.

## 9. MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente estudio se empleó el “Manual de Operación de Métodos de Prueba conforme a la Asociación Dental Americana No. 1”<sup>1</sup> editado a través de la Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Asuntos del Personal Académico, Facultad de Odontología, Proyecto PAPIME-PE205009, para preparar las muestras de amalgama dental y realizar las pruebas de resistencia a la compresión, cambio dimensional durante el endurecimiento y escurrimiento (creep).

Se utilizó la aleación para amalgama dental Permite® regular set, no gamma 2, aleación mezcla (partículas irregulares y esféricas). El fabricante señala que esta aleación está compuesta por 56% de Plata (Ag), 27.9% de Estaño (Sn), 15.4% de Cobre (Cu), 0.5% de Indio (In) y 0.2% de Zinc (Zn). Esta marca comercial cuenta con las tres presentaciones que fueron usadas para aplicarles el estudio (polvo, tableta y cápsula predosificada). En el caso de las cápsulas predosificadas, el fabricante señala que contienen 47.9% en peso de Mercurio (Hg).

Se realizó un análisis con Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) para verificar la forma de las partículas y la composición de la aleación en cada presentación. Para lo cual se extrajo la aleación en polvo que contenía una cápsula predosificada, se pesaron 0.6 g de aleación en presentación polvo y se tomaron dos tabletas para realizar el análisis.



Se prepararon 90 muestras con las diferentes presentaciones de aleación para amalgama dental para las pruebas de resistencia a la compresión, cambio dimensional y escurrimiento, divididas en tres grupos, 30 para cada uno.

Treinta muestras de amalgama utilizando la presentación de cápsulas predosificadas; 10 de estas muestras se sometieron a la prueba de resistencia a la compresión de  $60 \pm 2$  minutos; otras 10 se usaron en la prueba de cambio dimensional durante el escurrimiento y éstas mismas, se emplearon para aplicarles la prueba de resistencia a la compresión de  $24 \pm 1$  horas; las 10 muestras restantes se sometieron a prueba de escurrimiento (creep).

Se llevó a cabo el mismo procedimiento para las presentaciones de polvo y tabletas.

## 9.1. TRITURACIÓN

### **Reactivos:**

Mercurio (Hg). Tridestilado, lote 780500.

Aleación Permite® regular set, no gamma 2, aleación mezcla, en presentación de polvo, tabletas y cápsulas predosificadas.

### **Material:**

Hojas pequeñas de papel encerado.

Jeringa hipodérmica.

Pincel.

Cápsula.

Pistilo metálico.

**Equipo:**

Higrómetro.

Amalgamador (Silamat® S5, IvoclarVivadent, Suiza).

Balanza analítica (Adventurer®, U. S. A.).

Condensador.

Cronómetro.

Recipiente para pesar mercurio.

**Procedimiento:****a) Presentación en polvo.**

Se pesaron en la balanza analítica 0.6 g de aleación y 0.552 g de mercurio para cubrir la relación aleación/mercurio de 1/0.92, la cual menciona el fabricante que es óptima para realizar la amalgama dental.

Se colocó la esfera metálica o pistilo dentro del amalgamador.

Se vertieron los 0.6 g de aleación dentro de la cápsula, con ayuda de una hoja pequeña de papel encerado y un pincel.

Se colocaron los 0.552 g de mercurio dentro de la cápsula.

Se insertó la cápsula en el receptáculo del amalgamador. Se fijaron 8 segundos en el equipo y se inició la trituración.

Una vez formada la amalgama, se retiró la cápsula para preparar la muestra.

Se realizó este procedimiento para cada una de las 30 muestras en la presentación en polvo.

**b) Presentación en tabletas.**

Se emplearon dos tabletas para obtener cantidad suficiente de amalgama para formar un cilindro de 4 mm de diámetro y  $7 \pm 1$  mm de altura.

Se colocó la esfera metálica o pistilo dentro del amalgamador.

Se pesaron en la balanza analítica dos tabletas de aleación y se obtuvo la relación aleación/mercurio de 1/0.92 que indica el fabricante.

Se vertió la cantidad pesada de mercurio dentro de la cápsula.

Se insertó la cápsula en el receptáculo del amalgamador. Se fijaron 8 segundos en el equipo y se inició la trituration.

Una vez formada la amalgama, se retiró la cápsula para preparar la muestra.

Se realizó este procedimiento para cada una de las 30 muestras de la presentación en tabletas.

c) Presentación en cápsulas predosificadas.

Se activó la cápsula presionando el émbolo contra una superficie dura hasta que su borde estuvo en contacto con el cuerpo de la cápsula, se insertó la cápsula en el receptáculo del amalgamador. Se fijaron 7 segundos y se esperó la trituration.

Una vez formada la amalgama, se retiró la cápsula para preparar la muestra.

Se realizó este procedimiento para cada una de las 30 muestras de la presentación en cápsulas predosificadas.

## 9.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

**Reactivos:**

Amalgama

**Material:**

Sobres pequeños de papel.

**Equipo:**

Higrómetro.

Aparato de carga.

Molde.

Estufa de temperatura controlada a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$

Condensador.

Cronómetro.

Contenedor de residuos de mercurio.

### **Procedimiento:**

#### **Ensamble del molde**

Se armó el molde conforme a las instrucciones del manual.<sup>1</sup>

Se continuó con la amalgamación y al final de ésta se activó el cronómetro para iniciar la preparación de la muestra.

Durante los 30 segundos inmediatos se transfirió la amalgama al molde usando el embudo y un condensador, sin comprimir la amalgama para evitar que el mercurio que no reaccionó, se separara y fluyera hacia el exterior.

Se retiró el embudo una vez agregada la amalgama al molde y se insertó el émbolo por la parte superior del mismo. Se llevó el conjunto al aparato de carga y cuando el cronómetro marcó 30 segundos se aplicó suavemente una fuerza o carga ( $17.50\pm 1.25\text{kg}$ ) sobre el émbolo para producir una presión de  $14\pm 1\text{ MPa}$ .

Cuando el cronómetro marcó 45 segundos se liberó la fuerza y se retiró una platina cuidando no mover el molde. Cuando el cronómetro marcó 50 s se aplicó nuevamente la fuerza.

Se esperó hasta que el cronómetro marcó 1:30 minutos (equivalente a 90 segundos), transcurrido ese tiempo se liberó la fuerza y se retiró el mercurio excedente con ayuda del pincel para depositarlo en un frasco contenedor de residuos.

Cuando el cronómetro marcó 2:00 minutos se retiró el cilindro del molde y se giró el conjunto cilindro-émbolo a modo que la parte plana del émbolo hiciera contacto con una superficie plana y en esta posición, se aplicó una fuerza suave y uniforme sobre el émbolo para extraer la muestra.

### **9.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

#### **Reactivos:**

No aplica.

#### **Material:**

Sobres pequeños de papel.

#### **Equipo:**

Higrómetro.

Vernier con precisión de 0.01mm (Digimatic, Mitutoyo, Japón).

Estufa de temperatura controlada a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$  (Felisa, México).

Máquinas universales de pruebas mecánicas (INSTRON 5567, Instron, E. U.) e (INSTRON 1137, Instron, Inglaterra).

#### **Procedimiento:**

Las muestras preparadas se dividieron en dos grupos de 10 muestras cada uno. Las muestras se almacenaron en la estufa controlada a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$  inmediatamente después de haber sido preparadas. Un grupo se probó aplicando la fuerza o carga una vez que transcurrieron  $60\pm 2$  minutos después de haber sido preparadas. Los 10 especímenes restantes se fracturaron (cargaron) una vez que transcurrieron  $24\pm 1$  h. Las muestras que

se almacenaron durante  $24\pm 1$  h se ocuparon también para realizarles la prueba de “Cambio dimensional durante el endurecimiento”, ya que ambas pruebas se realizan con muestras que se almacenan a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$  durante  $24\pm 1$  h.

Las muestras, de acuerdo al tiempo de preparación se llevaron a la máquina universal de pruebas mecánicas donde se les aplicó una fuerza paralela a su eje de simetría con una velocidad de carga de  $0.50\pm 0.01$  mm/min, hasta su ruptura.

Se calculó el área de aplicación de fuerza conforme a la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Donde D es el diámetro de la muestra.

El valor del esfuerzo máximo a la compresión o también denominado, resistencia a la compresión, se obtuvo por medio de los cálculos señalados en el “Manual de Operación de Métodos de Prueba conforme a la Asociación Dental Americana N° 1”.

Se realizaron análisis estadístico de ANOVA 1 vía con prueba de Tukey, para determinar las diferencias estadísticamente significativas.

#### **9.4. CAMBIO DIMENSIONAL DURANTE EL ENDURECIMIENTO**

**Reactivos:**

No aplica.

**Material:**

Sobres pequeños de papel.

Cronómetro.

**Equipo:**

Higrómetro.

Tornillo micrométrico con precisión de 0.01 mm (Mitutoyo, IP 65 Coolant Proof, E.U.A.)

Estufa de temperatura controlada a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$  (Felisa. México).

**Procedimiento:**

Cuando transcurrieron 5 minutos a partir del inicio de la trituración, se midió la longitud de la muestra con el tornillo micrométrico, con una exactitud de  $0.5\ \mu\text{m}$  ( $0.0005\ \text{mm}$ ). Este dato se reportó como Lectura A.

Después de la medición se colocó la muestra dentro de un sobre de papel que incluyó la siguiente información: nombre del usuario, nombre del material, número de la muestra, fecha y hora de elaboración.

El sobre con la muestra se almacenó en la estufa de temperatura controlada a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$  durante  $24\pm 1\ \text{h}$ . Esta muestra también se empleó para la prueba de Resistencia a la Compresión de 24 h.

Transcurrido el tiempo de almacenamiento a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ , la muestra se retiró de la estufa y se hizo una medida que se registró como Lectura B.

Se realizaron los cálculos correspondientes para obtener el valor de Por ciento de cambio dimensional, de acuerdo a lo señalado en el “Manual de Operación de Métodos de Prueba conforme a la Asociación Dental Americana N° 1”.

Se realizó análisis estadístico ANOVA 1 vía con prueba de Tukey, para determinar las diferencias estadísticamente significativas.

## 9.5. ESCURRIMIENTO (CREEP)

### **Reactivos:**

No aplica.

### **Material:**

Sobres pequeños de papel.

Cronómetro.

### **Equipo:**

Higrómetro.

Tornillo micrométrico con precisión de 0.01 mm (Mitutoyo, IP 65 CoolantProof, E.U.A.)

Aparato de carga.

Estufa de temperatura controlada a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$  (Felisa. México).

### **Procedimiento:**

Se realizó a cada muestra de un grupo de 10 especímenes por cada presentación de la aleación.

Se pulió la superficie de ambos extremos de cada muestra para dejar el área plana y perpendicular a su eje de simetría mayor usando papel abrasivo de carburo de silicio de tamaño de grano 600.

Cada muestra se colocó dentro de un sobre de papel que incluyó la siguiente información: nombre del usuario, nombre del material, número de muestra, fecha y hora de elaboración.



Los sobres con las muestras se almacenaron en la estufa de temperatura controlada a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$  durante 7 días.

Transcurridos 7 días, se midió con el tornillo micrométrico con una precisión de  $10\ \mu\text{m}$  ( $0.0010\ \text{mm}$ ) la longitud axial de cada muestra y se registró como longitud inicial ( $L_0$ ).

Inmediatamente, la muestra se colocó entre las platinas del aparato de carga, el cual estuvo dentro de la cámara ambientadora a  $37\pm 5^{\circ}\text{C}$  y se colocó, durante una hora, una masa de  $44.954\pm 0.250\ \text{kg}$  que ejerció una presión de  $36.0\pm 0.2\ \text{MPa}$ .

Transcurridos 60 minutos, se retiró la masa y se midió la muestra, este valor se registró como longitud a una hora ( $L_1$ ).

Nuevamente se colocó la muestra dentro de la cámara de ambiente y se colocó la masa de  $44.954\pm 0.250\ \text{kg}$  durante 3 horas más.

Cumplidas las 3 horas, se retiró la masa, se midió la muestra y se registró como longitud a 4 horas ( $L_4$ ).

Se realizaron los cálculos correspondientes para obtener el *porcentaje de escurrimiento*, de acuerdo a lo señalado en el “Manual de Operación de Métodos de Prueba Especificación n° 1”.

Se realizó análisis estadístico ANOVA 1 vía con prueba de Tukey, para determinar las diferencias estadísticamente significativas.

## **9.6. ANÁLISIS CON MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

### **Reactivos:**

Aleación para amalgama dental marca Permite® regular set, no gamma 2, aleación mezcla, en sus tres presentaciones comerciales:

- 1 tableta.
- 0.6 g de aleación en polvo.
- 1 cápsula predosificada.

**Material:**

Pincel.

Hojas de papel encerado.

3 Portamuestras de latón.

Cinta de carbón de doble cara (tres cuadros pequeños de 8x8 mm aprox.).

2 contenedores de plástico pequeños.

Espátula de metal.

**Equipo:**

Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) (JEOL LV 5600, E.U.A.).

Balanza analítica (Adventurer®, E.U.A.).

**Preparación de la muestra de la aleación en presentación de tableta:**

Se colocó un cuadro de cinta de carbono en la superficie de un portamuestras y sobre éste se montó la aleación en tableta con la superficie plana hacia arriba.

**Preparación de la muestra de la aleación en presentación de polvo:**

Con ayuda de la espátula y el papel encerado se pesaron en la balanza analítica 0.6g de la aleación en presentación de polvo. Se guardó la aleación en un frasco de plástico pequeño donde se anotó el nombre de la aleación, la presentación, la cantidad pesada y la fecha.

Se colocó un cuadro de cinta de carbono en la superficie de un portamuestras.

Por medio de la espátula se tomó una porción de la aleación y se colocó en una parte de la cinta de carbono.

Con ayuda de aire comprimido se esparció la aleación en polvo para eliminar la mayor parte de partículas que no lograron adherirse a la cinta, esto para

lograr una adecuada distribución de partículas que permitió una mejor toma de imágenes y cuantificación de elementos (EDS).

### **Preparación de la muestra de la aleación en presentación de cápsula predosificada:**

Se tomó una cápsula predosificada y con cuidado se separó la sección opuesta al émbolo.

Se extrajo la aleación en polvo con ayuda de un pincel y se colocó sobre un papel encerado para pesarla en la balanza analítica, se obtuvieron 0.6017 g que fueron guardados en un frasco de plástico pequeño. Se anotó en el frasco el nombre de la aleación, la presentación, la cantidad pesada y la fecha.

Se colocó un cuadro de cinta de carbono en la superficie de un portamuestras.

Por medio de la espátula se tomó una porción de la aleación y se colocó en una parte de la cinta de carbono.

Con ayuda de aire comprimido se esparció la aleación en polvo para eliminar la mayor parte de partículas que no lograron adherirse a la cinta, esto para lograr una adecuada distribución de dichas partículas que permitió una mejor toma de imágenes y cuantificación de elementos.

### **Análisis de las muestras**

Cada muestra fue colocada en el MEB al alto vacío, con 20 Kv de aceleración de partículas.

Se obtuvieron micrografías con magnificaciones de 500X, 2000X, 4000X y 10000X.

Cada muestra fue sometida a análisis con EDS para cuantificar sus elementos.

## **10. RESULTADOS**

Tras el análisis con Microscopio Electrónico de Barrido se obtuvieron las siguientes imágenes.

La figura 1 muestra las diferentes formas geométricas de los componentes de la aleación contenida en una cápsula predosificada. Las partículas esféricas corresponden a una aleación de plata-cobre y las irregulares a una de plata-estaño.

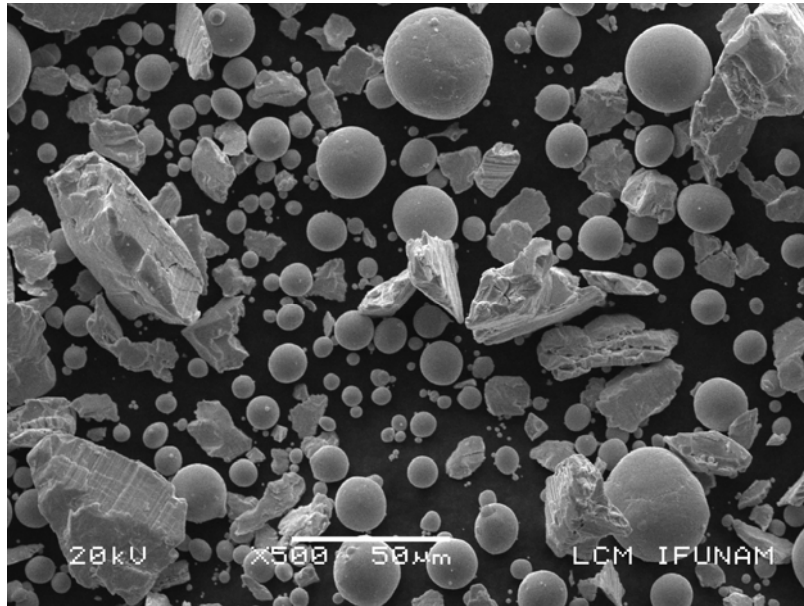


Figura 1. Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido del polvo de la aleación contenida en una cápsula predosificada. Aumento de 500X.

En la figura 2 se señala el tamaño de las partículas del polvo de aleación contenida en una cápsula predosificada.

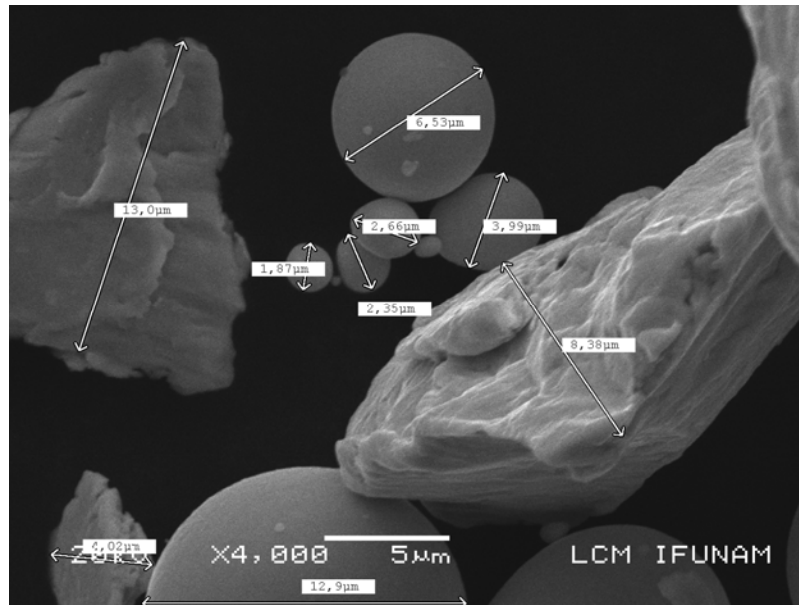


Figura 2. Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido del polvo de la aleación contenida en una cápsula predosificada. Aumento de 4000X.

La figura 3 presenta las partículas irregulares de plata-estaño y las esferas de plata-cobre de la aleación en presentación de polvo.

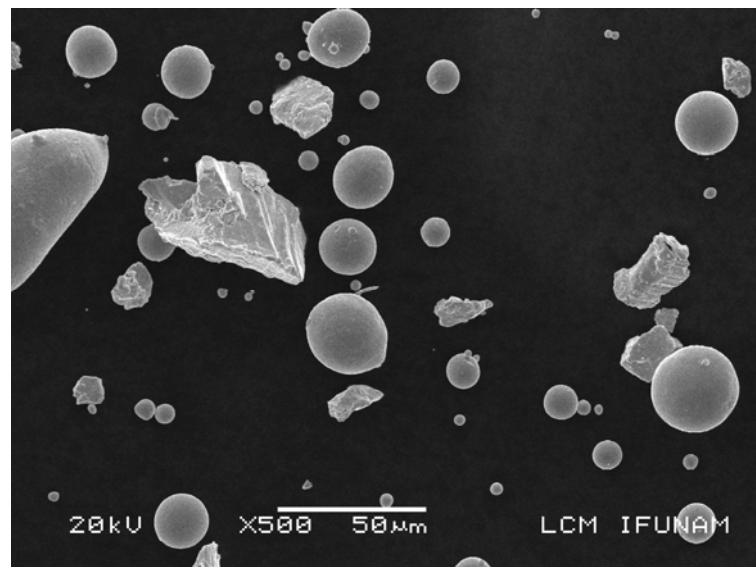


Figura 3. Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de la aleación en presentación de polvo. Aumento 500X.

La figura 4 señala el tamaño de las partículas esféricas de la aleación en presentación de polvo.

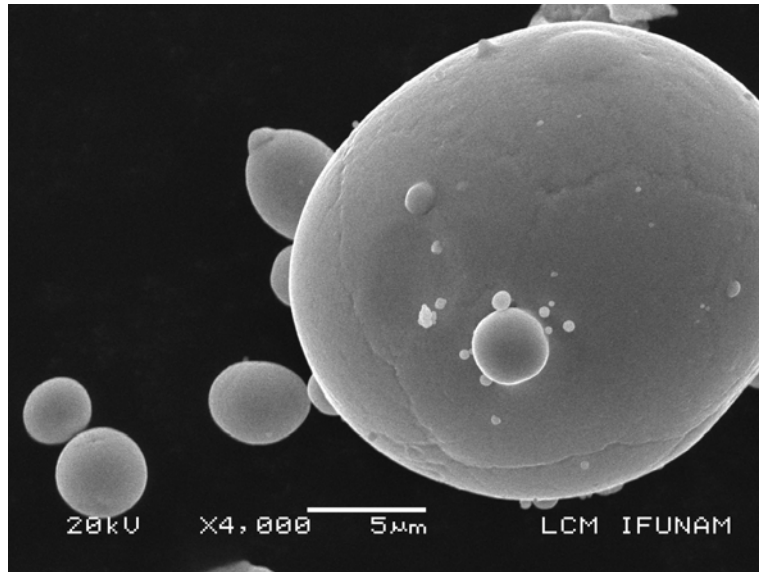


Figura 4. Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de las partículas esféricas de la aleación en presentación de polvo. Aumento 4000X.

En la figura 5 se muestra el tamaño de partículas irregulares de la aleación en presentación de polvo.

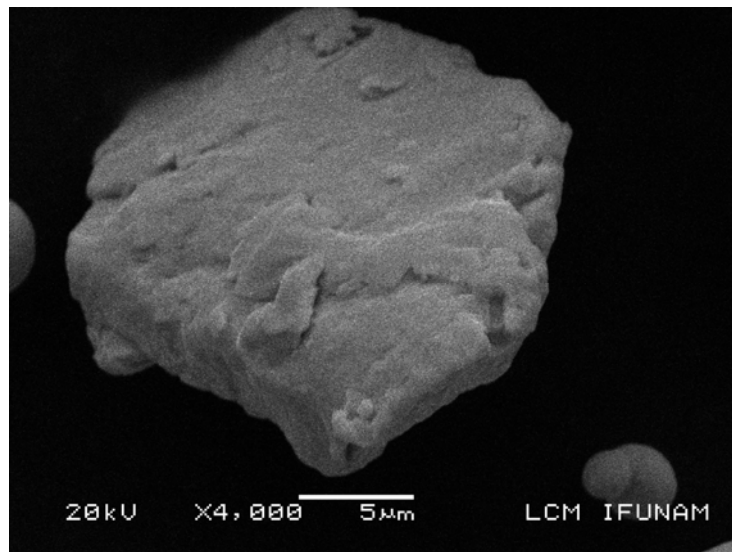


Figura 5. Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de una partícula irregular de la aleación en presentación de polvo. Aumento 4000X.

La figura 6 presenta las partículas irregulares de plata-estaño con una apariencia amorfa por la compresión que sufren al fabricar la tableta y las esferas de plata-cobre igualmente comprimidas.

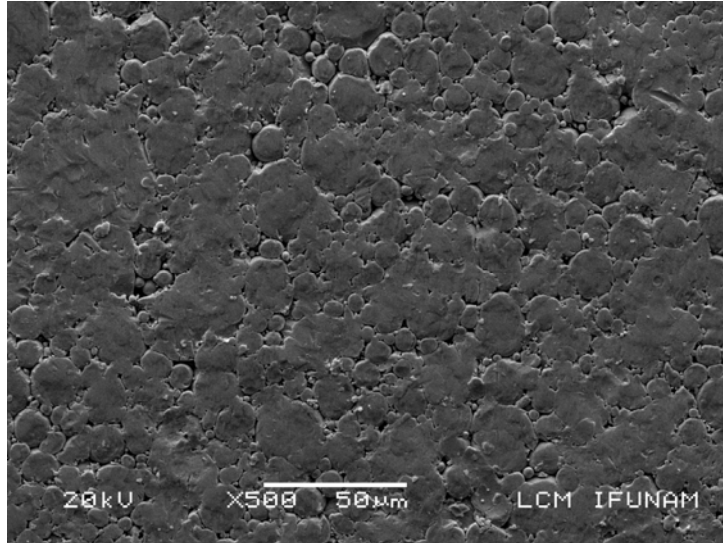


Figura 6. Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de la aleación en presentación de tableta. Aumento 500X.

La figura 7 muestra el tamaño de las partículas de la aleación en tableta.

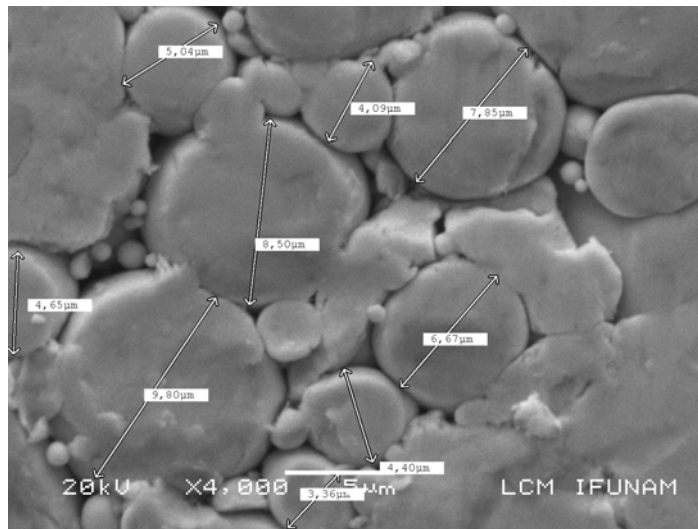


Figura 7. Micrografía al Microscopio Electrónico de Barrido de la aleación en presentación de tableta. Aumento 4000X.

Las tablas 1 a 3 indican los elementos químicos de las 3 diferentes presentaciones, así como su porcentaje como elemento atómico y en peso de los mismos.

Tabla 1. Porcentaje de cada elemento contenido en la aleación en presentación de polvo.

ELEMENTO	% ATÓMICO	% EN PESO
Ag	50.28	55.07
Sn	22.57	27.21
Cu	23.98	15.48
Zn	2.88	1.91
In	0.29	0.33
Total	100.00	100.00

Tabla 2. Porcentaje de cada elemento contenido en la aleación en presentación de tableta.

ELEMENTO	% ATÓMICO	% EN PESO
Ag	50.96	54.91
Sn	25.33	30.02
Cu	22.99	14.59
Zn	0.70	0.46
In	0.02	0.02
Total	100.00	100.00



Tabla 3. Porcentaje de cada elemento contenido en la aleación en presentación de cápsula predosificada.

ELEMENTO	% ATÓMICO	% EN PESO
Ag	52.61	56.72
Sn	23.83	28.27
Cu	20.82	13.22
Zn	2.74	1.79
Total	100.00	100.00

El fabricante de la aleación empleada indica que no es requerido el uso de pistilo dentro de las cápsulas reutilizables con amalgamadores que superen las 3800 rpm, por lo cual el amalgamador empleado para la trituración fue sometido a una prueba con estroboscopio que indicó alcanza 3100 rpm.

#### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 60±2 min

Los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión a 60±2 min se reportan en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores promedio de la resistencia a la compresión a 60±2 min de las diferentes presentaciones.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 60±2 min			
Esfuerzo Máx.	CÁPSULAS	TABLETAS	POLVO
Promedio (MPa)	204	189	227
Desv. Est. (MPa)	24	6	12
Coef. Var. (%)	12	3	5

Las muestras de amalgama preparadas a partir de cápsulas predosificadas soportaron en promedio 204 MPa como esfuerzo máximo o resistencia a la compresión. Sin embargo, su esfuerzo máximo fue superado por las

amalgamas preparadas a partir de aleación en polvo, pues éstas soportaron 227 MPa. Las preparadas a partir de aleación en tabletas obtuvieron el menor valor, en promedio 189 MPa.

#### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 24±1h

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión a 24±1h.

Tabla 5. Valores promedio de la resistencia a la compresión a 24±1h de las diferentes presentaciones.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 24±1h			
Esfuerzo Máx.	CÁPSULAS	TABLETAS	POLVO
Promedio (MPa)	466	390	455
Desv. Est. (MPa)	25	46	38
Coef. Var. (%)	5	12	8

Las muestras de amalgama preparadas a partir de aleación en cápsulas predosificadas obtuvieron el mayor valor de esfuerzo máximo, con un promedio de 466 MPa. Seguidas de las preparadas a partir de aleación en polvo, que soportaron en promedio 455 MPa. Las que tuvieron el menor valor de esfuerzo máximo fueron las tabletas, con un promedio de 390 MPa.

Con los datos obtenidos en las pruebas de compresión a 60±2min y 24±1h, se realizaron gráficas de esfuerzo-deformación mediante las cuales se obtuvieron los valores de: deformación última, módulo elástico (E), esfuerzo de cedencia, deformación de cedencia, resiliencia y tenacidad, para cada grupo de muestras según la presentación. Estos valores se resumen en la tabla 6.

Tabla 6. Valores promedio de cada presentación de aleación para amalgama dental.

<b>Resist. Comp. @ 60±2 min</b>			
Deformación última (mm/mm)	0.063	0.07	0.072
Módulo elástico (E) (MPa)	3817	3518	3272
Esfuerzo de cedencia (MPa)	62	59	61
Deformación de cedencia (mm/mm)	0.039	0.045	0.044
Resiliencia (MJ/m <sup>3</sup> )	0.584	0.556	0.591
Tenacidad (MJ/m <sup>3</sup> )	3.65	3.66	4.60
<b>Resist. Comp. @ 24±1h</b>			
Deformación última (mm/mm)	0.091	0.092	0.091
Módulo elástico (E) (MPa)	3308	2814	3010
Esfuerzo de cedencia (MPa)	76	77	84
Deformación de cedencia (mm/mm)	0.023	0.028	0.028
Resiliencia (MJ/m <sup>3</sup> )	1.095	1.289	1.488
Tenacidad (MJ/m <sup>3</sup> )	13.218	11.878	12.664

### CAMBIO DIMENSIONAL DURANTE EL ENDURECIMIENTO

En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de cambio dimensional entre 5min y 24h después de la trituración.

Tabla 7. Valores promedio de Cambio Dimensional de las diferentes presentaciones.

<b>CAMBIO DIMENSIONAL</b>			
	CÁPSULAS	TABLETAS	POLVO
Promedio (%)	-0.083	-0.359	-0.332
Desv. Est.	0.031	0.199	0.260
Coef. Var. (%)	37	55	78

Las muestras de amalgama preparadas a partir de cápsulas predosificadas mostraron el menor porcentaje de cambio dimensional, en promedio -0.083%, seguidas de las preparadas a partir de aleación en polvo con un promedio de -0.332%. Las que mostraron el mayor cambio dimensional de las tres presentaciones fueron las tabletas con un valor de -0.359%.

#### ESCURRIMIENTO (CREEP)

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de escurrimiento (creep).

Tabla 8. Valores promedio de Escurrimiento de las diferentes presentaciones.

ESCURRIMIENTO			
	CÁPSULAS	TABLETAS	POLVO
Promedio (%)	0.417	0.927	0.683
Desv. Est.	0.088	0.210	0.084
Coef. Var. (%)	21	23	12

Las amalgamas preparadas a partir de cápsulas predosificadas mostraron, en promedio, menor porcentaje de escurrimiento (0.417%), seguidas de las preparadas a partir de aleación en polvo (0.683%), siendo las preparadas con aleación en tabletas las que obtuvieron el mayor valor (0.927%).

La Tabla 9 muestra un resumen de resultados sin considerar la desviación estándar y el coeficiente de variación de todos los valores obtenidos de las tres presentaciones.

Tabla 9. Resumen de resultados.

PRUEBA	CÁPSULAS	TABLETAS	POLVO
<b>Cambio dimensional (%)</b>	-0.083	-0.359	-0.332
<b>Escurrecimiento (%)</b>	0.417	0.927	0.683
<b>Resist. Comp. @ 60±2 min</b>			
Esfuerzo máximo (Mpa)	204	189	227
Deformación última (mm/mm)	0.063	0.07	0.072
Módulo elástico (E ) (MPa)	3817	3518	3272
Esfuerzo de cedencia (MPa)	62	59	61
Deformación de cedencia (mm/mm)	0.039	0.045	0.044
Resiliencia (MJ/m <sup>3</sup> )	0.584	0.556	0.591
Tenacidad (MJ/m <sup>3</sup> )	3.65	3.66	4.60
<b>Resist. Comp. @ 24±1h</b>			
Esfuerzo máximo (Mpa)	466	390	455
Deformación última (mm/mm)	0.091	0.092	0.091
Módulo elástico (E ) (MPa)	3308	2814	3010
Esfuerzo de cedencia (MPa)	76	77	84
Deformación de cedencia (mm/mm)	0.023	0.028	0.028
Resiliencia (MJ/m <sup>3</sup> )	1.095	1.289	1.488
Tenacidad (MJ/m <sup>3</sup> )	13.218	11.878	12.664

## 11. DISCUSIÓN

Las imágenes obtenidas por medio del Microscopio Electrónico de barrido comprueban que las tres presentaciones de aleación para amalgama dental Permite® contienen partículas en limadura y partículas esféricas, lo que la hace una aleación mezcla o de fase dispersa, como lo señala el fabricante.

### CAMBIO DIMENSIONAL

Según los resultados del análisis estadístico, existe una diferencia significativa entre los resultados que obtuvo la cápsula en comparación con la tableta y con el polvo, pero la diferencia no es significativa entre el polvo y

la tableta. Los valores que obtuvieron las muestras de las cápsulas predosificadas indican un menor aumento en sus dimensiones en comparación con las otras dos presentaciones, esto puede ser atribuido a que durante la trituración en cápsulas reutilizables se pierde cierta cantidad de mercurio, aunado a que el uso de un pistilo dentro de las cápsulas aumenta la temperatura y a mayor temperatura se produce una mayor vaporización de mercurio, lo cual puede afectar las propiedades finales de la amalgama.<sup>15</sup>

Aunque no se conoce con claridad el mecanismo de los cambios de dimensión de la amalgama, se sabe que existen una serie de factores que influyen en éste desde las primeras fases de la cristalización. Si las dimensiones finales de la amalgama son el resultado de la expansión o la contracción depende en cierto grado de la magnitud de la contracción inicial.<sup>11</sup> El mayor aumento en las dimensiones de las muestras preparadas a partir de aleación en tabletas en comparación con las otras presentaciones, se puede explicar al recordar su proceso de fabricación y manipulación.

Después del comienzo de la trituración, las partículas de aleación se disuelven en el mercurio y se produce una contracción por la disminución del volumen inicial.<sup>7</sup> Esta reacción puede verse afectada al emplear una aleación en tableta, ya que al momento de la trituración, las tabletas presentan diferencias en la facilidad con la que se convierten en polvo,<sup>7</sup> se invierte mayor trabajo al realizar la trituración por la cohesión que existe entre sus átomos y la disolución en el mercurio puede verse disminuida. Sin embargo, la trituración de aleaciones en cápsulas predosificadas se realiza fácilmente.

Según la teoría del cambio dimensional, toda manipulación que aumente la difusión de mercurio en las limaduras favorece la contracción inicial de la amalgama.<sup>7</sup> Esto puede suceder con las muestras de amalgama preparadas a partir de cápsulas predosificadas, por lo que presentaron menor aumento en sus dimensiones en comparación con las preparadas con tabletas.

La reacción entre el mercurio y la aleación prosigue durante varias horas. Después de la contracción inicial de la amalgama, hay una expansión producida por el choque de los cristales  $\gamma_1$ .<sup>7</sup> Las partículas de aleación que no reaccionaron pueden hallarse en mutuo contacto en diversas zonas gracias también a la condensación del material al momento de formar el cilindro de amalgama y, en el caso de las muestras preparadas con las

tabletas, las partículas podrían crear pronto un armazón que resista la contracción y así presentar una menor contracción inicial.

Aunque uno de los objetivos de la condensación es eliminar la mayor cantidad posible de mercurio libre<sup>11</sup>, en las muestras de las tabletas puede haber una mayor tendencia a contener mercurio sin reaccionar y por lo tanto formar mayor cantidad de fase  $\gamma_1$  con la consecuente mayor expansión en comparación con las otras dos presentaciones.

El menor aumento en las dimensiones de las muestras de amalgama preparadas a partir de cápsulas predosificadas puede deberse a que se logra fácilmente una mayor difusión de las partículas en el mercurio y se crea una capa de fase  $\eta$  que actúa como barrera contra la deformación de la fase  $\gamma_1$ .<sup>7</sup>

## RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Según el análisis estadístico, en forma general existe una diferencia significativa entre los valores que obtuvo la presentación en tabletas en comparación con las cápsulas predosificadas y el polvo. No así, entre las cápsulas predosificadas y el polvo. Estos resultados pueden deberse a que la presentación de aleación en tabletas tiene más diferencia en su fabricación y manipulación. La presentación de cápsulas predosificadas se asemeja un poco a la aleación en presentación en polvo porque en su interior contiene aleación en polvo. Sin embargo, las tabletas se obtienen al comprimir cierta cantidad de aleación en polvo mediante una presión que forme una “capa” externa y mantenga unidas a las partículas con cierta cohesión entre ellas; además, requieren el empleo de una cápsula reutilizable para su trituración, así como un pistilo y pesar previamente aleación y mercurio para obtener una adecuada relación.

El mayor valor de resistencia a la compresión a  $24 \pm 1$ h obtenido por las muestras de amalgama preparadas a partir de cápsulas predosificadas, puede relacionarse con su valor de tenacidad, ya que un material tenaz ofrece gran resistencia a la fractura<sup>5</sup> porque es capaz de absorber mucha energía antes de fracturarse. Las muestras preparadas a partir de tabletas tuvieron menor resistencia a la compresión a 24h, lo que concuerda con su valor de tenacidad que fue el menor de los tres.

La menor facilidad con la que las partículas de aleación se disuelven en el mercurio en el caso de la aleación en tabletas, puede llegar a perjudicar la resistencia final.<sup>7,16</sup> El aumento del contenido final de mercurio incrementa la fracción volumétrica de las fases de la matriz a expensas de las partículas de aleación, en consecuencia, las amalgamas con cantidades mayores de mercurio final, es decir que no reaccionó, son más débiles.<sup>7</sup> En el caso de las muestras preparadas con aleación en tabletas mostraron un esfuerzo máximo menor que el de las otras presentaciones, es decir, soportaron menos carga antes de fracturarse y además sufrieron mayor deformación última.

El módulo elástico representa el coeficiente de fuerza elástica con respecto a la deformación elástica, por lo que cuanto mayor sea la deformación causada por una fuerza dada, mayor será el valor del módulo.<sup>7</sup> El módulo elástico de las muestras de aleación en tabletas es el más bajo a 24h ya que tuvo una deformación de cedencia mayor a la de las cápsulas e igual a la del polvo, pero un esfuerzo de cedencia mayor al de las cápsulas y menor al del polvo. De lo anterior se deduce que las muestras de amalgama preparadas a partir de aleación en tabletas, con una determinada carga sufrirá una mayor deformación elástica en comparación con las otras presentaciones.

Estos datos tienen importancia clínica si tomamos en cuenta que una amalgama preparada a partir de aleación en tableta, sufre mayor deformación y soporta menos carga antes de fracturarse a 24h de su trituración.

En la prueba de resistencia a la compresión a  $60\pm 2$  minutos, las muestras preparadas a partir de aleación en polvo obtuvieron el mayor valor de esfuerzo máximo, lo cual concuerda con su valor de tenacidad, que indica mayor resistencia en comparación con los bajos valores que obtuvieron las muestras preparadas a partir de aleación en tabletas. Las cápsulas predosificadas obtuvieron un valor intermedio, probablemente se debe a que, como se ha mencionado anteriormente, la fabricación y manipulación de la aleación en tabletas disminuye sus propiedades, no así con la presentación en polvo que gracias a la presencia del pistilo puede llegar a mejorar la difusión de las partículas en el mercurio y producir su reacción más rápidamente, por lo cual presenta mayor resistencia que las muestras de las cápsulas a  $60\pm 2$  min, pero no a  $24\pm 1$ h.



## ESCURRIMIENTO

Según el análisis estadístico, las tres presentaciones tienen entre ellas diferencias estadísticamente significativas.

Cuando una amalgama dental es sometida a una carga constante durante un tiempo prolongado, el material alcanza un límite elástico y su deformación se incrementa posteriormente sin que se incremente la carga, provocando deformación permanente en el material.<sup>5</sup> La literatura científica menciona que los factores de manipulación que tienden a disminuir la resistencia, también aumentan el índice de escurrimiento de cualquier tipo de amalgama, por lo que es necesario prestar atención al momento de la trituración. En general, las amalgamas que presentan altos valores de escurrimiento, tienden a ser más sensibles a la manipulación que las amalgamas que presentan bajos valores.<sup>7, 17</sup>

Como se señaló anteriormente, las muestras preparadas a partir de aleación en tableta tienen una mayor deformación plástica bajo una carga determinada, lo que aumenta su porcentaje de escurrimiento.

## 12. CONCLUSIONES

- Se cumplió la hipótesis de trabajo ya que la presentación en cápsulas predosificadas para amalgama dental presentó diferentes resultados en las pruebas de resistencia a la compresión, cambio dimensional durante el endurecimiento y escurrimiento (creep), en comparación con las presentaciones en polvo y tabletas.
- La energía necesaria para deformar a las muestras de cualquiera de las tres presentaciones para alcanzar el punto de cedencia (zona plástica) es prácticamente la misma durante los primeros 60 minutos una vez terminada la preparación de las muestras.
- La energía necesaria para deformar a las muestras de cualquiera de las tres presentaciones para alcanzar el punto de cedencia (zona plástica) varía considerablemente para muestras probadas a las 24 horas.

- En los valores de las propiedades mecánicas a 24 horas y a 1 hora se observa la influencia de la formación de las fases.

### 13. REFERENCIAS

1. Carlos Andrés Álvarez Gayosso, Alejandra Morán Reyes, Teresa Baeza Kingston, Rodrigo Daniel Hernández Medina. Aleaciones para Amalgama Dental, "Manual de Operación de Métodos de Prueba conforme a la Asociación Dental Americana N° 1". México, D. F. 2009.
2. Norma Nacional Norteamericana / Especificación no. 1 de la Asociación Dental Americana para Aleación para Amalgama Dental. Aprobada el 9 de enero de 2003.
3. JuditForrai. "History of amalgam in Dentistry. *A História do amálgamaemOdontologia*". PhD. CSc. Semmelweis University. Institute of Public Health. Department of History of Medicine. 1089, Budapest, Nagyváradtér 4, Hungary. Rev. Clín. Pesq. Odontol. 2007 jan/abr; 3(1):65-71.
4. J. M. Hyson, Jr., DDS, MS, MA. "Amalgam: It's History and Perils". March. 2006. Vol. 34. No. 3. CDA. Journal.
5. Federico Humberto Barceló Santana y Jorge Mario Palma Calero. "Materiales dentales. Conocimientos básicos aplicados". Editorial trillas, 2ª edición. México. 2004. Págs. 127-137.
6. Ruiz C, Jairo A.; Gómez M, Gabriel J.; Durán, Carlos J.; Villa, Víctor M.; Zapata, Luis A.; Parra, Carlos M.; Pérez R, Jorge I.; Carmona C, Rosaura. "Contribución de las condiciones locativas y ambientales al riesgo de contaminación con mercurio en las entidades odontológicas de Antioquia". Contribution of environmental conditions in dental offices of Antioquia to the risk of mercury contamination. Rev. Fac. Nac. SaludPública Vol. 26 No. 2 julio-diciembre 2008.

7. Kenneth J. Anusavice, PHD, DMD. "Phillips' Science of Dental Materials". Eleven Edition. Saunders An Imprint of Elsevier. USA, 2003. Págs. 495-543.
8. Gerardo Rodríguez Baciero, Inma Sánchez Ruiz, Ma. José Lartitegi, Joseba Ellacuría, Armando García López, José I. Soler. "Estudio de la microdureza superficial de 28 aleaciones comerciales para amalgama de plata". Leioa, Vizcaya. DENTUM 2005; 5(4): 127-135.
9. PNUMA Productos Químicos. "Evaluación mundial sobre el mercurio". Ginebra, Suiza. Diciembre de 2002. Versión en español publicada en Junio 2005.
10. ©Organización Mundial de la Salud. "El mercurio en el sector salud". Suiza 2005.
11. Dr. Ralph W. Phillips. "La ciencia de los Materiales Dentales de Skinner". 7ª edición, Nueva Editorial Interamericana. México, D. F. 1985.
12. Grágeda Zegarra Mario y Montesinos Susana. "Aplicaciones de microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis de fractura de una aleación de Cu-10 Al". Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Universidad de Chile.
13. AdabacheOrtíz Araceli, Silva Briano Marcelo y Galván de la Rosa Ricardo. "El Microscopio electrónico de barrido un instrumento útil para la ciencia". Centro de Ciencias Básicas. Departamento de Biología. Laboratorio de Microscopio Electrónico de Barrido. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
14. Toledo Carlos A. y Varela Raquel. "40 años del microscopio electrónico de barrido". Laboratorio Central de Criminalística. Habana, Cuba. 2005.

15. Nonaka Tomio, Vinha Dionísio, Camacho Guilherme B. y Pandolfo Geovani Luis. "Alterações nas propriedades físicas do amálgama dental por perda de mercúrio durante a trituração mecânica". Rev. Odontol. Univ. São Paulo, Vol.12, No. 2, págs. 137-142. Abril/Junio, 1998.
16. Sánchez Ruíz Inmaculada, García López Armando, Portolés Carlos, Arizmendiarieta Maider, Soler Ruíz José Ignacio y Triana Guillermo. "Influencia que ciertas condiciones de manipulación ejercen sobre la resistencia compresiva de modernas amalgamas de alto contenido en cobre". Universidad del País Vasco UPV/EHU. DENTUM 2009;9(3):115-118.
17. John W. Osborne, Ralph W. Phillips, Richard D. Norman y Marjorie L. Swartz. "Influence of Certain Manipulative Variables on the Static Creep of Amalgam". Osborne et. al. Vol. 56 No. 6. J Dent Res June 1977.