



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ALEACIONES DE PLATA, ESTAÑO Y COBRE
PARA USO DENTAL

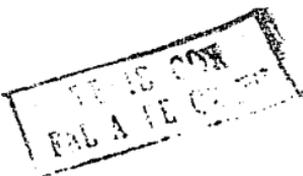


COMITÉ PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
Q U Í M I C O
P R E S E N T A :
DOMINGO CASAS MENDOZA

MEXICO, D.F.,

1989





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

C O N T E N I D O

INTRODUCCION.

CAPITULO 1. GENERALIDADES

- 1.1 Definición de Aleación y Amalgama Dental.
- 1.2 Propiedades Físicas de los Componentes de la Aleación Dental.
 - 1.2.1 Estado Natural.
 - 1.2.2 Extracción.
 - 1.2.3 Alotropías.
 - 1.2.4 Configuración Electrónica.
 - 1.2.5 Otras Propiedades.
- 1.3 Propiedades Químicas de los Componentes de la Aleación Dental.
- 1.4 Propiedades Físicas de una Aleación.
 - 1.4.1 Propiedades Eléctricas.
 - 1.3.2 Propiedades Magnéticas.
 - 1.4.3 Propiedades Térmicas.
 - 1.4.4 Propiedades Mecánicas.
 - 1.4.5 Dureza.
 - 1.4.6 Tensión.
 - 1.4.7 Prueba de Impacto.
 - 1.4.8 Prueba de Fatiga.
 - 1.4.9. Pruebas no Destructivas.

- 1.5 Composición de la Aleación Dental.
- 1.6 Efecto de los Componentes de la Aleación Dental.
- 1.7 Propiedades Físicas de la Amalgama Dental.

CAPITULO 2. MATERIALES Y METODOS

- 2.1 Hornos de Fundición.
- 2.2 Crisoles.
- 2.3 Procedimiento para fundir Metales.
 - 2.3.1 Adición de Metales Aleantes.
 - 2.3.2 Gases en Metales.
 - 2.3.3 Cubiertas Protectoras en Fundición.
 - 2.3.4 Fundición al vacío.
 - 2.3.5 Fundición en Gas Inerte.
- 2.4 Método de Obtención de la Aleación Dental.
- 2.5 Método de Obtención de la Amalgama Dental.

CAPITULO 3. PARTE EXPERIMENTAL

- 3.1 Determinación de la Pureza de las Materias Primas.
- 3.2 Obtención de la Aleación Dental.
- 3.3 Experimentos Realizados.

CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSION

- 4.1 Resultados de la Pureza de las Materias Primas.

4.2 Resultados de la Obtención de la Aleación Dental.

4.3 Resultados de la Obtención de la Amalgama Dental.

Conclusiones.

Bibliografía.

I N T R O D U C C I O N

INTRODUCCION

La Química Inorgánica estudia el comportamiento químico de los elementos existentes en la naturaleza, en donde encontramos el reino mineral que está compuesto en general de metales, no metales y los anfóteros. Dentro de los metales existe, una gran variedad de elementos que tienen gran aplicación en el campo industrial y tecnológico.

En la Industria, se pueden encontrar varios objetos que están compuestos por metales puros o metales combinados con otros. La disolución de dos o más metales por medio de la fusión se denomina aleación. Como ejemplo tenemos una aleación que forma parte del hombre debido a que la utiliza en la restauración de las cavidades dentales. Este tipo de material recibe el nombre de aleación dental, y sus componentes son: plata, estaño, cobre y cinc.

El objetivo de este tema es preparar una aleación de plata, estaño y cobre, que tenga aplicaciones dentales, igualando y en algunos casos superando las normas de calidad que rigen a las aleaciones para este uso, además esta aleación sera de un costo bajo.

Se diseñará una técnica de laboratorio para la preparación de la aleación dental, y se utilizará material, equipo y materias primas disponibles.

Se usarán métodos de análisis químico para conocer la pureza de las materias primas antes de formar la aleación dental,

y se estudiará la relación de los componentes para la preparación de la aleación y, mediante algunos diagramas de fase que da la literatura, se seguirá y conocerá el comportamiento de los metales antes de formarse la aleación dental.

Se realizarán varios experimentos para establecer los parámetros reales y así poder generalizar la secuencia de la obtención de la aleación dental, conociendo previamente el comportamiento de los metales utilizados en la aleación. Para que queden bien definidos estos parámetros se modificará la composición, temperatura y el tiempo de fusión de cada muestra, variando el porcentaje en el contenido de cada elemento sin rebasar los límites que la norma de la Asociación Dental Americana en la especificación número uno, que rige para este tipo de productos.

Posteriormente se realizará un estudio de la muestra final por medio de un análisis en el microscópio electrónico de barrido, para saber la concentración real de los componentes dentro de la aleación, siguiendo un estudio en las propiedades físicas de la misma.

Conociendo la composición real y algunas de sus propiedades físicas del producto, se diseñará un procedimiento para obtener una limadura o polvo de la aleación obtenida, pasándola por mallas y así obtener el tamaño de partícula deseada. Se proseguirá a amalgamar el polvo y se le harán algunos estudios con respecto a sus propiedades físicas para verificar y clasificar el carácter del producto final.

El producto final se comparará con los ya existentes en el mercado, observando la calidad, marca y costo, y así se podrá comparar entre una de ellas. Después de haber hecho la comparación en sus diferentes aspectos, se concluirá el trabajo en cada uno de sus puntos.

Cabe mencionar el enfoque que se da a este trabajo, la aplicación de la química a problemas tecnológicos, por lo tanto a este estudio de laboratorio pueden seguir otras etapas encaminadas al proceso de producción.

C A P I T U L O U N OG E N E R A L I D A D E S

1 GENERALIDADES.

1.1 Definición de aleación y amalgama dental.

Aleación es una mezcla sólida o líquida de dos o más metales producida por la fusión de sus componentes, adquiriendo propiedades que son muy diferentes a la de los metales iniciales.

La finalidad de la aleación es mejorar la utilidad específica del componente primario sin degradarlo. (3)

Existen diferentes tipos de aleaciones que, por utilizarse en Odontología, reciben el nombre de aleaciones dentales como la aleación oro-cobre, utilizadas principalmente para colados dentales, como bases para dentaduras, estructuras complejas de prótesis parciales y, eventualmente, ciertos tipos de puentes, las aleaciones de cromo-cobalto que se emplean para el mismo propósito, las ventajas que proporciona el uso de estas aleaciones de cromo-cobalto en colados dentales es su menor peso. Aleaciones de plata-estaño-cobre y trazas de cinc, se utilizan para incrustaciones y amalgamas dentales. Esta aleación de plata-estaño-cobre al reaccionar con el mercurio forma la amalgama dental.

El colado dental es la preparación de piezas especiales que se utilizan para incrustaciones y tienen como principal objetivo impartirle forma por medio de la fusión, para asegurarse así la obtención de una forma adecuada para un trabajo específico.

La amalgama dental es el material más utilizado en Odonto-

logía para la restauración de piezas dentales.

En el presente trabajo se estudio la aleación de plata-estaño-cobre y trazas de cinc, teniendo como principal objetivo la preparación de la amalgama dental. (27)

1.2 Propiedades físicas de los componentes de la aleación dental.

1.2.1 Estado natural.

Plata. Es un metal lustroso, blando y maleable de color blanco. Se encuentra en los siguientes minerales:

Argentita	Ag_2S
Estefanita	$5Ag_2S.Sb_2S_3$
Pirargirita	$3Ag_2S.Sb_2S_3$
Plata córnea	$AgCl$

Estaño. Es un metal que presenta alotropía. Tiene brillo metálico, es blando, el color de acuerdo a su alotropía. Se encuentra en los siguientes minerales:

Casiterita	SnO_2
Estannita	$Cu_2S.FeS.SnS_2$
Cilindrita	$Pb_3Sn_4Sb_2S_{14}$
Franckeita	$Pb_5Sn_3Sb_2S_{14}$

Cobre. Se halla muy ampliamente distribuido en la naturaleza, donde se encuentra como tal, al estado libre, o en sulfuros, arseniuros, cloruros y carbonatos. El cobre es un metal

de color rojo, blando, dúctil y es soluble en todas proporciones con el oro. Se presenta en los siguientes minerales:

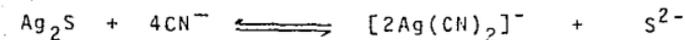
Calcocita	Cu_2S
Calcopirita	CuFeS_2
Covellina	CuS
Bomita	Cu_5FeS_4
Cuprita	Cu_2O
Malaquita	CuCO_3
Cobre nativo	Cu

Cinc. Es un metal blanco, muy volátil de aspecto lustroso pero se opaca fácilmente. Es escaso en la naturaleza, pero es bien conocido desde hace muchos años debido a que se encuentra en depósitos localizados y que se obtiene fácilmente a partir de sus minerales que son:

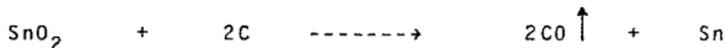
Blenda de cinc	ZnS
Calamina	ZnCO_3
Willemita	Zn_2SiO_4
Cincita	ZnO

1.2.1 Extracción.

Plata. Se obtiene mediante la siguiente reacción:



Estaño. Se obtiene calentando la mena con carbón y caliza. La reacción es la siguiente:



Cobre. Se pulveriza la mena y se funde el sulfuro. Se insufla aire. Parte de la purificación es efectuada en el horno (el hierro se recoge como escoria) y finalmente, el cobre se purifica electrolíticamente.

La reacción es la siguiente:



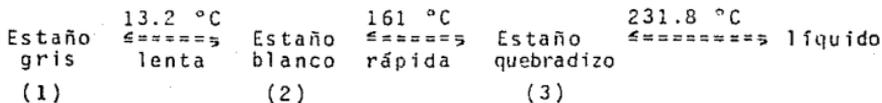
Cinc. La mena se calienta con carbón mineral, el cinc se destila y se condensa. Se purifica electrolíticamente y se obtiene mayor pureza. La reacción es la siguiente:



1.2.3 Alotropías.

La plata, el cobre y el cinc no presentan alotropías.

Estaño. La alotropía se representa en la siguiente reacción:



Estructura:

(1) Tipo diamante

Densidad:

5.75 g/ml.

- (2) Tetragonal. 7.28 g/ml.
 (3) Rómbico. 7.65 g/ml.

Nota:

El paso de estaño blanco a gris, a baja temperatura, se conoce como peste del estaño. Únicamente se realiza con rapidez por debajo de -50°C , a menos que se utilice un catalizador, - como estaño 2+ o estaño gris. (18)

1.2.4 Configuración electrónica.

Tabla 1.1 Configuración electrónica de los metales usados - en la aleación dental:

Elemento	configuración electrónica										
	1s	2s	2p	3s	3p	4s	3d	4p	5s	4d	5p
Plata	2	2	6	2	6	2	10	6	1	10	
Cobre	2	2	6	2	6	1	10				
Estaño	2	2	6	2	6	2	10	6	2	10	2
Cinc	2	2	6	2	6	2	10				

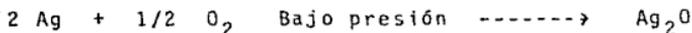
1.2.5 Propiedades físicas generales.

Tabla 1.2 Presenta propiedades físicas de los elementos que componen la aleación dental.

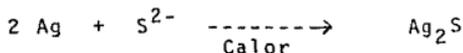
Propiedades	E L E M E N T O S			
Físicas	Plata	Cobre	Estaño	Cinc
Símbolo	Ag	Cu	Sn	Zn
Num. atómico	47	29	50	30
Peso atómico	107.88	63.54	118.7	65.38
Densidad, g/ml	10.5	8.92	5.75 ⁺	7.14
Volumen atómico, ml	10.27	7.12	16.23	9.17
Punto de fusión, °C	960.5	1083	231.8	419.4
Punto de ebul. °C	1950	2310	2362	90.7
Potencial de ionización, eV				
Primero	7.534	7.723	7.32	9.391
Potencial de electrodo, E° ₂₉₈ en V.	$M^+ + e^- \rightleftharpoons M$ + 0.799	$M^+ + e^- \rightleftharpoons M$ + 0.522	$M^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons M$ - 0.136	$M^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons M$ - 0.762
	$M^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons M$ + 1.389	$M^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons M$ + 0.345		
Electronegatividad.	1.5	1.5	1.7	1.5
Estados de oxidación.	1+ (2+, 3+)	1+, 2+ (3+)	2+, 4+	2+
Radio atómico, A°.	1.339	1.173	1.40	1.249
Radio Ionico, A°.	Ag ⁺ 1.26	Cu ⁺ 0.96	Sn ⁴⁻ 2.94	Zn ²⁺ 0.76

1.3 Propiedades químicas de los componentes de la aleación dental.

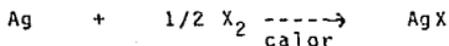
Plata. Reacciona con el oxígeno bajo presión formando óxido de plata. La reacción es la siguiente:



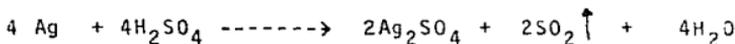
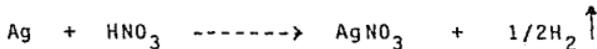
Reacciona con el azufre al calentarse y forma sulfuro de plata:



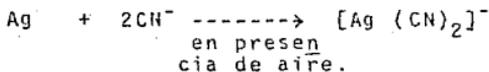
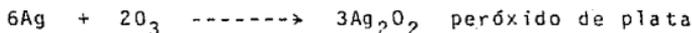
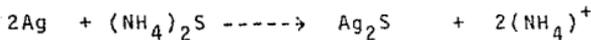
Con los halógenos reacciona al calentar la plata al rojo vivo y forma halogenuros.



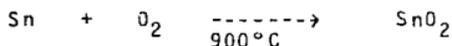
No le atacan los ácidos diluidos. Con ácido nítrico y ácido sulfúrico reacciona formando los siguientes compuestos:



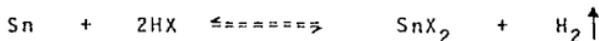
Otras reacciones:



Estaño. En presencia de oxígeno a 900°C arde y forma óxido de estaño. La reacción es la siguiente:

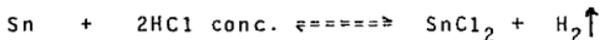


Los halogenuros de estaño se preparan calentando:

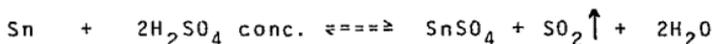


Siendo los de mayor importancia SnF_2 y SnCl_2 y ambos se disuelven fácilmente en acetona, acetato de etilo o piridina.

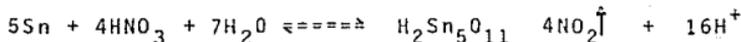
Reacciona con ácido clorhídrico formando el siguiente compuesto:



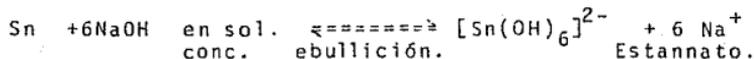
Reacciona con ácido sulfúrico formando el siguiente compuesto:



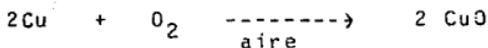
Reacciona con ácido nítrico formando el siguiente compuesto:



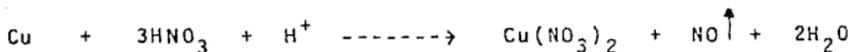
Reacciona con sosa formando el siguiente compuesto:



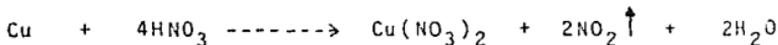
Cobre. En presencia de O_2 , forma óxido de cobre mediante la siguiente reacción:



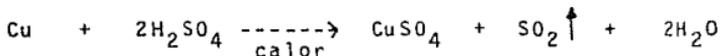
Con ácido nítrico diluido reacciona formando:



Con ácido nítrico concentrado reacciona formando:



Con ácido sulfúrico concentrado reacciona formando:



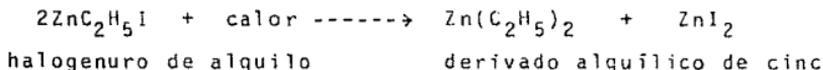
El cobre calentandolo con fósforo queda:



Cinc. Forma óxidos por pirólisis de los carbonatos o nitratos, o por combustión del metal al aire. El óxido de cinc es normalmente blanco pero se vuelve amarillo al ser calentado y a temperatura elevada sublima el óxido; Reacciona fácilmente con ácidos diluidos. Con hidróxido de sodio en solución forma el siguiente compuesto:



Otras reacciones:



Se conocen todos los halogenuros de cinc.

1.4 Propiedades físicas de una aleación.

1.4.1 Propiedades eléctricas. Son aquellas que se refieren a los fenómenos eléctricos como: la conductividad eléctrica, efectos termoeléctricos, fenómenos electroquímicos, efectos electrofísicos en los potenciales de electrodo y efectos electromecánicos.

Para describir algunos de estos fenómenos, es necesario describir algunas propiedades eléctricas:

1. Resistencia eléctrica. Depende de la forma del metal y de su resistividad. La siguiente ecuación es válida en todo conductor de sección constante:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

en la que R es la resistencia en Ohms, l la longitud en centímetros; A, la sección en centímetros cuadrados y ρ la resistividad en Ohms-centímetro. Puesto que el valor real de la resistividad en un metal o una aleación dada, está influido en gran medida por muchos factores y es preciso considerar la naturaleza de estas influencias.

Puesto que la electricidad es transportada en un metal por los electrones, los problemas que se presentan en la conductividad eléctrica según relacionados con el movimiento de dichos electrones.

Por lo tanto, si hay N electrones libres por centímetro cúbico y si su velocidad media neta bajo la acción de un campo eléctrico es v_D la corriente eléctrica por centímetro cuadra

do es:

$$j = N e v_D$$

donde e , es la carga del electrón. La característica de una corriente eléctrica es que su campo eléctrico no acelera continuamente a los electrones, como ocurriría si no existiera fricción, sino que, por el contrario, la corriente alcanza rápidamente un valor constante.

1.4.2 Propiedades magnéticas. Son aquellas que se refieren a los fenómenos magnéticos. Estos son estudiados por la ciencia del magnetismo que explica muchos aspectos de la estructura y del comportamiento de la materia. Existen aleaciones especiales que son la fuente de muchos desarrollos de la ingeniería.

1.4.3 Propiedades térmicas. Determinan la cantidad de calor que cede o gana un cuerpo. Un cierto número de propiedades determina el efecto de añadir calor a una aleación. Por ejemplo, el calor específico (C_p), controla el aumento de temperatura (ΔT) al añadir una cantidad determinada de calor (Q) a un gramo de metal:

$$Q = C_p \cdot \Delta T$$

Los valores de las propiedades térmicas dependen de la naturaleza de la fase sólida y de su temperatura.

1.4.4 Propiedades mecánicas. Estudian el efecto que producen ciertas fuerzas en un metal o una aleación.

Todos los metales o aleaciones están sometidos durante el servicio a fuerzas que tiran, empujan y tuercen (figura 1.1). Con frecuencia, es inconveniente emplear estas fuerzas directamente para determinar el efecto que producen y, en vez de ellas, se utilizan correspondientemente tensiones de tracción, compresión y torsión.

En principio, las tensiones no producen ningún efecto permanente en la zona elástica; por el contrario, en la zona plástica pueden ocasionar grandes deformaciones en la pieza del metal. Estos interesan a los productores por dos razones: (1) En la mayoría de los dispositivos mecánicos, es indispensable que las tensiones se encuentren dentro de la zona elástica para evitar las deformaciones plásticas; por este motivo, es muy importante el límite de fluencia de una aleación, pues representa la tensión por debajo de la cual la deformación es casi totalmente elástica.

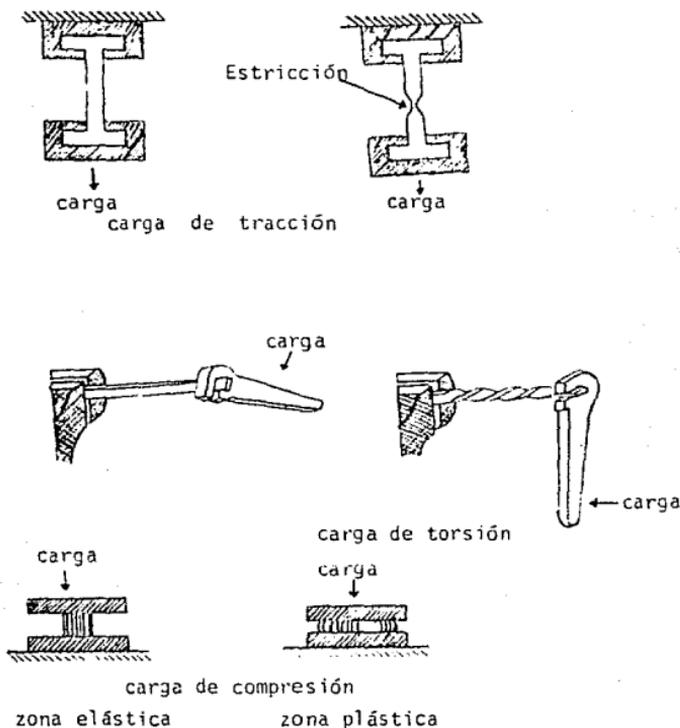
La fluencia es la deformación dependiente del tiempo que ocurre bajo la aplicación de esfuerzo.

La deformación por fluencia que ocurre a una rapidez disminuyente se llama fluencia primaria; la que sucede a una rapidez mínima y casi constante, fluencia secundaria.

La que ocurre a una velocidad acelerante, fluencia terciaria. (2) En muchos dispositivos, con el fin de mantener tolerancias mínimas o para satisfacer exigencias de diseño simi-

lares, han de controlarse adecuadamente incluso las deformaciones elásticas pequeñas.

Fig. 1.1.- Fuerzas que tiran, tuercen y empujan a un determinado metal.



1.4.5 Dureza. Es difícil definir la propiedad de "dureza", -excepto en relación con la prueba empleada en particular para determinar su valor. Debe tenerse en cuenta que un número o valor de dureza no puede utilizarse directamente en traba-

jos de diseño, como se puede hacer con un valor de resistencia a la tensión, ya que los números de dureza no tienen significado intrínseco.

La dureza no es propiedad fundamental de un material, sino que está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. El valor de la dureza obtenido en una prueba determinada sirve sólo como comparación entre materiales o tratamientos. El procedimiento de prueba y la preparación de la muestra suelen ser sencillos y los resultados pueden utilizarse para estimar otras propiedades mecánicas.

La prueba de dureza se utiliza ampliamente para inspección y control. El tratamiento térmico o el trabajo efectuado en una pieza metálica resulta generalmente en un cambio de dureza. Cuando se establece el valor resultante de la dureza de un tratamiento térmico a un material dado por un proceso determinado, esa estimación proporcionará un método rápido y sencillo para el material y procesos particulares. Las diversas pruebas de dureza se pueden dividir en tres categorías:

Dureza elástica.

Resistencia al corte o abrasión.

Resistencia a la indentación.

a) Dureza elástica.

Este tipo de dureza se mide mediante un escleroscopio, que es un dispositivo para medir la altura de rebote de un pequeño martillo con emboquillado de diamante, después que cae por su propio peso desde una altura definida sobre la superficie de la pieza a prueba. El instrumento tiene por lo gene

ral, un disco autoindicador donde la altura de rebote, se indica automáticamente. Cuando el martillo es elevado a su posición normal o inicial, tiene cierta cantidad de energía-potencial. Cuando es liberada, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea la superficie de la pieza a prueba. Alguna energía se absorbe al formar la impresión y el resto regresa al martillo al rebotar éste. La altura de rebote se indica por el número sobre una escala arbitraria y cuanto mayor sea el rebote, mayor será el número y la pieza a prueba sera más dura.

Esta prueba es realmente una medida de la resistencia al material o sea, la energía que puede absorber en el intervalo elástico.

b) Resistencia al corte o abrasión.

Prueba de rayadura. Esta prueba la ideó Friedrich Mohs. La escala consta de diez minerales estándar arreglados siguiendo un orden de incremento de dureza. Por ejemplo, el talco es el número uno y el diamante el número diez. Cuando un metal al ser rayado apreciablemente por el seis por ejemplo - mínimo por el siete se dice que este metal esta entre seis y siete de dureza. La principal desventaja es que la escala de dureza no es uniforme. Cuando la dureza de los minerales es examinada por otro método de prueba de dureza, se encuentra que los valores están muy cercanos entre uno y nueve y que hay gran diferencia en dureza no cubiertas entre nueve y diez.

Prueba o ensayo de lima. La pieza a prueba se somete a la acción de corte de una lima de dureza conocida para determinar si se produce un corte visible. Las pruebas comparativas con una lima dependen del tamaño, forma y dureza de ésta; de la velocidad, presión y ángulo de limado durante la prueba; y de la composición y tratamiento térmico del material a prueba. La prueba generalmente se emplea en la industria como aceptación o rechazo de una pieza.

Al pasar una lima por la superficie, se puede examinar con rapidez un gran número de partes tratadas térmicamente para determinar si el tratamiento ha sido satisfactorio.

c) Resistencia a la indentación.

Esta prueba generalmente se realiza imprimiendo en la muestra, en reposo sobre una plataforma rígida, un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplica directamente o por medio de un sistema de palanca. Dependiendo del sistema de prueba, la dureza se expresa por un número inversamente proporcional a la profundidad de la indentación para una carga y marcador especificados, o proporcional a una carga media sobre el área de muestra.

Otra prueba es el ensayo de dureza Brinell. El probador de dureza Brinell generalmente consta de una prensa hidráulica-vertical de operación manual, diseñada para forzar un marcador de bola dentro de la muestra. El procedimiento estándar

requiere que la prueba se haga con una bola de diez mm de diámetro bajo una carga de 3000 kg para metal ferrosos y 5000 para metales no ferrosos. Esta bola es presionada durante un tiempo de diez segundos y 30 respectivamente.

El diámetro de la impresión producida se mide por medio de un microscópio que contiene una escala ocular, generalmente graduada en decimos de milímetros que permite estimaciones de hasta casi 0.05 mm.

El número de dureza de Brinell (HB) es la razón de la carga en kilogramos al área en milímetros cuadrados de la impresión, y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$HB = \frac{L}{(\pi D/2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

donde:

L = carga de prueba en kg.

D = Diámetro de la bola en mm.

d = Diámetro de la impresión en mm.

Por lo general no se necesita hacer el cálculo, ya que hay tablas para convertir el diámetro de grabación observada al número de dureza Brinell; éste seguido por el símbolo HB sin números sufijos indica condiciones de prueba estándar usando una bola de diez mm de diámetro y una carga de 3000 kg, aplicada de diez a 15 segundos. Para otras condiciones, el número de dureza y el símbolo HB se complementan por números que

indican las condiciones de prueba en el siguiente orden: diámetro de la bola, carga y duración de la carga.

El número de dureza Brinell cuando se usa una bola ordinaria está limitada a 500 HB aproximadamente. Conforme el material a prueba sea más duro, hay tendencia a que el propio marcador de muescas se empiece a deformar y las lecturas no serán exactas.

Prueba o ensayo de dureza Rockwell. En esta prueba de dureza, se utiliza un instrumento de lectura directa basado en el principio de medición de profundidad diferencial. La prueba se lleva a cabo al elevar la muestra lentamente contra el marcador hasta que se ha aplicado una carga determinada menor. Esto se indica en el disco medidor. Luego se aplica la carga mayor a través de un sistema de palanca de carga. Después que la aguja del disco llega al reposo, se quita la carga mayor y, con la carga menor todavía en acción, el número de dureza Rockwell es leído en el disco medidor. Como el orden de los números se invierte en el disco medidor, una impresión poco profunda en el material duro dará un número grande en tanto que una impresión profunda en un material blando dará un número pequeño.

Hay dos máquinas Rockwell: El probador normal para secciones relativamente gruesas, y el probador superficial para secciones delgadas. La carga menor es de diez kg en el probador normal y tres kg en el probador superficial.

Pueden utilizarse diversos marcadores de muescas y cargas-

y cada combinación determina una escala Rockwell específica.

El funcionamiento de la máquina debe ser verificado frecuentemente con bloques de prueba estándar proporcionados por el fabricante.

La manija de operación debe regresarse suavemente a su posición inicial; golpearla para quitar la carga mayor puede producir un error de varios puntos en el disco de indicación. Se debe tener cuidado de asentar firmemente el yunque y el marcador pues cualquier movimiento vertical en estos puntos resulta un registro de una profundidad adicional en el medidor y, por tanto en una lectura de dureza falsa.

Prueba o ensayo de dureza Vickers.- En esta prueba, el instrumento utiliza un marcador piramidal de diamante en base cuadrada con un ángulo incluido de 136° entre las caras opuestas. El intervalo de carga está generalmente entre uno y 120 kg. El probador de dureza Vickers funciona bajo el mismo principio que el probador Brinell, y los números se expresan en términos de carga y área de la impresión.

Como resultado de la forma del marcador, la impresión sobre la superficie de la muestra será un cuadrado. La longitud de la diagonal del cuadrado es medida por medio de un microscópio equipado con un micrómetro ocular que contiene fillos móviles. La distancia entre los fillos se indica en un contador calibrado en milésimas de milímetro. Por lo general, hay tablas para convertir la diagonal medida al número de dureza piramidal Vickers (HV) o por medio de la fórmula:

$$HV = \frac{1.854 L}{d^2}$$

donde:

L = Carga aplicada en kg.

d = Longitud de la diagonal del cuadrado de la impresión -
en mm.

Como resultado de la latitud en las cargas aplicadas, el probador Vickers es útil para medir la dureza de hojas muy delgadas, así como secciones pesadas.

1.4.6 Tensión. Esta prueba es la que se realiza con mas frecuencia para determinar ciertas propiedades mecánicas.

Una muestra o probeta preparada específicamente se coloca a una carga axial por medio de un sistema de carga de palanca, mecánico o hidráulico. La fuerza se indica en un disco calibrado. Si se conoce el área transversal original de la muestra, puede calcularse el esfuerzo desarrollado en cualquier carga.

La deformación o alargamiento se mide en una longitud establecida, generalmente de dos pulgadas, por medio de un disco medidor llamado extensómetro. La deformación unitaria puede determinarse dividiendo el alargamiento medido entre la longitud original marcada en la probeta. En algunos casos, puede utilizarse un medidor eléctrico de la deformación para medirla totalmente.

1.4.7 Prueba de impacto.

La prueba de impacto indica la tenacidad del metal o aleación en una forma relativa. Por lo general, para las pruebas de impacto se utilizan muestras tipo muesca. Dos tipos de muesca de tipo general se utilizan en pruebas de flexión por impacto: la muesca ojo de cerradura y la muestra en V. Asimismo, se utilizan dos muestras, la Charpy y la Izod.

La muestra Charpy se coloca en un tornillo de banco de manera semejante a una viga sencilla soportada en ambos extremos, en tanto que la muestra Izod se coloca en el tornillo de banco de modo que un extremo quede libre y sea, por tanto, una viga volada.

La máquina de impacto ordinaria tiene un péndulo oscilante de peso fijo, que es elevado a una altura estándar, dependiendo del tipo de muestra que se pretende probar. A esa altura, con referencia al tornillo de banco, el péndulo tiene una cantidad definida de energía potencial. Cuando el péndulo se libera, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea la muestra. La muestra Charpy se golpeará atrás de la muesca en V, en tanto que la muestra Izod colocada con la muesca en V de cara al péndulo, se golpeará arriba de la muesca en V. En cualquier caso, una parte de la energía del péndulo se utilizará para romper la muestra, provocando que el péndulo se eleve en el lado opuesto de la máquina a una altura menor que aquella en que se inició su movimiento desde ese mismo lado de la máquina. El peso del péndulo

lo multiplicado por la diferencia de alturas indicará la energía, generalmente en libras/pie, absorbida por la muestra, o sea la resistencia al impacto de la muestra con muestra.

1.4.8 Prueba de fatiga.

Fatiga. Es el fenómeno que origina la fractura bajo esfuerzos repetidos o fluctuantes, con un valor máximo menor que la resistencia tensil que el material. Las fracturas por fatiga son progresivas, empezando con fisuras diminutas que crecen bajo la acción del esfuerzo fluctuante.

Estas son pruebas de tipo dinámico que determinan el comportamiento relativo de los materiales cuando se les somete a cargas repetidas. Procura simular las condiciones de esfuerzo desarrolladas en las partes de una máquina por la vibración que producen las cargas cíclicas. La magnitud del esfuerzo puede establecerse con la máquina, y el tipo de esfuerzo (tensión, compresión, doblamiento, o torsión) lo determinan la máquina y el tipo de muestra probada.

El esfuerzo al que se somete la muestra durante la prueba varía continuamente entre dos valores, de los cuales el máximo suele ser menor que el de la resistencia de cedencia del material. Los ciclos de esfuerzo se aplican hasta que se alcanza la falla de la muestra o un número de ciclos límite.

Entonces, tales resultados se grafican en una escala semi-logarítmica con el esfuerzo S como ordenada y el número de ciclos N , que produjeron la falla, como abscisa. El límite de

aguante o continuación de cualquier material está definido - como el esfuerzo límite, abajo del cual el metal soportará - un gran número indefinido de ciclos de esfuerzo sin fractu-- rarse.

1.4.9 Pruebas no destructivas.

Una prueba no destructiva es el examen de un objeto efec-- tuado en cualquier forma que no impida su utilidad futura. - Aunque en la mayoría de los casos las pruebas no destructi-- vas no dan una medición directa de las propiedades mecánicas, son muy valiosas para localizar defectos en los materiales - que podrían afectar el funcionamiento de una pieza de una má quina cuando entra en servicio. Dicha prueba se emplea en la detección de materiales defectuosos antes de que las partes-- componentes sean formadas o maquinadas; para conocer compo-- nentes defectuosos antes de ensamblar; en la medición del es-- pesor de un metal u otros materiales; para determinar el ni-- vel de líquido o el contenido de un sólido en recipientes - opacos; para identificar y clasificar materiales; para descu-- brir defectos que pudiera desarrollarse durante el procesa-- miento o el uso. Las partes también pueden examinarse cuando están en servicio, lo que permitirá su remoción previa a la-- ocurrencia de una falla.

Las pruebas no destructivas se utilizan para hacer produc-- tos más confiables, seguros y económicos. Aumentar la confia-- bilidad mejora la imagen pública del fabricante, que conduce

a mayores ventas y ganancias. Además de lo anterior, los fabricantes recurren a estas pruebas para mejorar y controlar los procesos de fabricación.

Hay cinco elementos básicos para cualquier prueba no destructiva:

a) Fuente.- Una fuente que proporciona un medio de sondeo, es decir algo que puede usarse para obtener información del artículo bajo prueba.

b) Modificación.- Este medio de sondeo debe cambiar o ser modificado como resultado de las variaciones o discontinuidades dentro del objeto sometido a prueba.

c) Detección.- Un detector que puede determinar los cambios en el medio de sondeo.

d) Indicación.- Una forma de indicar o registrar las señales del detector.

e) Interpretación.- Un método para interpretar estas indicaciones.

Aunque hay en uso una gran variedad de pruebas no destructivas garantizadas, y solamente se mencionarán algunos métodos con respecto a este punto.

A. Radiografía de metales.

La radiografía de metales se puede realizar mediante rayos X o rayos gama-- rayos electromagnéticos de longitud de

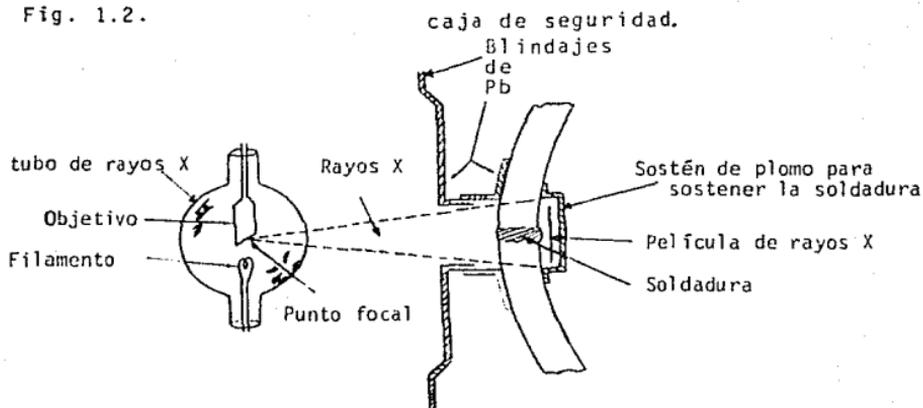
onda corta capaces de atravesar espesores del metal relativamente grandes. Los rayos gama se pueden obtener ya sea de un material radiactivo natural (como el radio), o de un isótopo radiactivo (como el cobalto 60). La radiación gama es más penetrante que los rayos X; pero su sensibilidad inferior limita su aplicación. No hay forma de que la fuente se pueda regular para examinar espesores variables o contrastes y generalmente requiere mucho más tiempo de exposición que el método de rayos X.

Los rayos X se producen cuando la materia es bombardeada por un haz de electrones que se mueven rápidamente. Cuando los electrones se detienen de repente por la materia, parte de su energía cinética se convierte en energía de radiación o rayos X.

Las condiciones esenciales a manera de resumen para la generación de rayos X son: a) un filamento (cátodo) que proporciona la fuente de electrones, para dirigirse al objetivo; b) un objetivo (ánodo) localizado en la trayectoria de los electrones; c) una diferencia de voltaje entre el cátodo y el ánodo, con lo que se regulará la velocidad de los electrones que inciden sobre el objetivo, regulando la longitud de onda de rayos X producidos y d) un medio de regular la corriente del tubo para controlar el número de electrones que chocan contra el objetivo.

En la figura (1.2), se muestra una representación esquemática del uso de rayos X teniendo como muestra una placa soldada.

Fig. 1.2.



Los rayos X son peligrosos y deben emplearse medidas de seguridad adecuadas para proteger el personal que los maneja.

Una radiografía es una fotografía sombreada de un material más o menos transparente a la radiación. Los rayos X oscurecen la película, de modo que las regiones de menor densidad que permiten fácilmente la penetración de éstos aparecen oscuras en el negativo, comparadas con las regiones de mayor densidad que absorben mayor radiación. De este modo, un orificio o una fractura aparece como un área más oscura. Aunque la radiografía de metales se ha utilizado principalmente para revisar piezas fundidas y productos soldados, también puede usarse para medir el espesor de los materiales.

B. Inspección por partículas magnéticas (Magnaflux).

Este es un método para detectar la presencia de fisuras, -recubrimientos, rasgones, inclusiones y discontinuidades se-

mejantes en materiales ferromagnéticos como el hierro y el acero. Aunque no es aplicable a materiales no magnéticos es preciso mencionarlo.

C. Inspección por penetración fluorescente (Zygló).

Este es un método sensible no destructivo con el que se pueden detectar pequeñas discontinuidades como fisuras, contracciones y porosidades que afloran a la superficie. Aunque este modo puede aplicarse tanto a materiales magnéticos como a no magnéticos, se usa principalmente en materiales no magnéticos. Se puede recurrir a varias técnicas penetrantes para revisar cualquier material homogéneo no poroso, como metales, vidrio, plástico y algunos materiales cerámicos.

Las partes por probar se tratan primero con un trazador o colorante (es el nombre genérico con el que se conocen las sustancias que penetran en las fisuras); por lo general, los trazadores son líquidos ligeros, de apariencia aceitosa que se aplica a la prueba por inmersión, rociado o con una brocha, o de alguna otra manera conveniente. El trazador es absorbido dentro de las fisuras y otras discontinuidades por una fuerte acción capilar. Después que el trazador ha tenido tiempo de filtrarse, los residuos restantes sobre la superficie se limpian o se lavan. Esto permite al trazador permanecer en todas las discontinuidades que afloran a la superficie. A continuación, la pieza que se está revisando se trata con un polvo seco o una suspensión de polvo en un líquido.

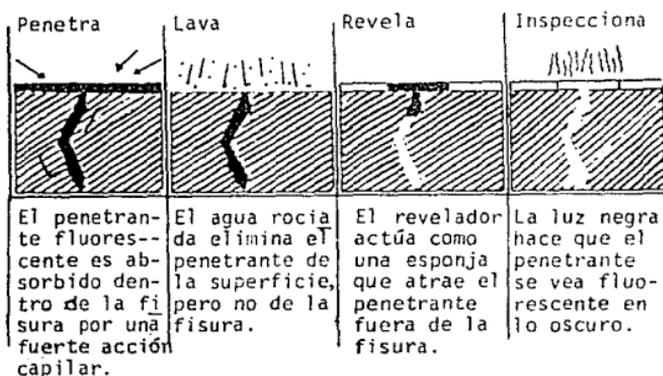
Este polvo o revelador actúa como una esponja que atrae al trazador fuera del defecto y aumenta el tamaño del área de indicación. A fin de que el proceso de inspección sea eficaz, el trazador debe observarse fácilmente en el polvo revelador. Un método para facilitar la inspección es usar colores contrastes para el trazador y el revelador. Una combinación muy común es utilizar un revelador blanco y un colorante rojo.

Otro método consiste en usar un trazador fluorescente. Los pasos son exactamente los mismos que los descritos con anterioridad, excepto por el líquido penetrante pues contiene un material que emite luz visible cuando se expone a una radiación ultravioleta. Las lámparas que emiten luz ultravioleta se llaman lámparas negras, porque la luz visible que podrían emitir normalmente es detenida por un filtro, haciéndola aparecer negra o púrpura oscuro. Cuando la parte por revisar se observa bajo la luz negra, el defecto aparece como una marca fluorescente que brilla contra un fondo negro.

La inspección por trazador fluorescente se emplea para localizar fisuras y contracciones en piezas fundidas, aleaciones, fisuras en la fabricación y reesmerilado de herramientas de carburo, fisuras y hoyos en estructuras soldadas, etc.

En la figura (1.3), se muestran los pasos de esta inspección.

Fig. 1.3.- Pasos principales en el método de inspección por penetración fluorescente.



D. Inspección ultrasónica.

Un método muy antiguo es utilizar ondas de sonido para determinar defectos. Si una pieza de metal es golpeada con un martillo, producirá ciertas notas audibles, las cuales pueden alterarse en resonancia y tono por la presencia de imperfecciones internas. Sin embargo, esta técnica de golpear con un martillo y escuchar el sonido correspondiente es útil sólo para detectar grandes defectos.

Un método más depurado consiste en utilizar ondas de sonido fuera del intervalo auditivo, con una frecuencia de uno a cinco millones de Hz (ciclos por segundo). El método ultrasónico es una prueba no destructiva, confiable y rápida que emplea ondas sonoras de alta frecuencia producidas electrónicamente las cuales penetrarán metales, líquidos y muchos otros materiales a velocidades de varios miles de centímetros por segundo. Las ondas ultrasónicas para ensayos no destructivos

generalmente las producen materiales piezoeléctricos, los cuales sufren un cambio en su dimensión física cuando se someten a un campo eléctrico. Esta conversión de energía eléctrica a energía mecánica se conoce como efecto piezoeléctrico. Si se aplica un campo eléctrico alterno a un cristal piezoeléctrico, el cristal se expande durante la primera mitad del ciclo y se contraerá cuando el campo eléctrico se invierta. Al variar la frecuencia del campo eléctrico alterno, se puede variar la frecuencia de la vibración mecánica (onda sonora) producida en el cristal. El cuarzo es un transductor ultrasónico ampliamente utilizado. Un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía a otra.

Existen dos métodos de prueba ultrasónicos comunes: a) el de transmisión continua y b) el de eco-pulsos. El primero utiliza un transductor en cada lado del objeto que se va a revisar. Si al cristal transmisor se le aplica un pulso eléctrico de la frecuencia deseada, las ondas ultrasónicas producidas se desplazarán a través de la muestra hasta el otro lado. El transductor de recepción situado en el lado opuesto recibe las vibraciones y las convierte en una señal eléctrica que se puede amplificar y observar en el tubo de rayos catódicos de un osciloscopio, un medidor o algún otro indicador. Si la onda ultrasónica viaja a través de la muestra sin encontrar ninguna imperfección, la señal recibida será relativamente grande.

Si hay imperfección en la trayectoria de la onda ultrasóni

ca, parte de la energía se reflejará y la señal que recibirá el traductor de recepción se reducirá.

El método de eco-pulso utiliza sólo un transductor que sirve como transmisor y receptor. Conforme la onda sonora penetra en el material sometido a prueba, parte de ella se refleja de vuelta al cristal, donde se convierte en un impulso eléctrico. Este impulso se amplía y hace visible, apareciendo como una indicación o señal sobre la pantalla del osciloscopio. Cuando la onda sonora alcanza el otro lado del material, se refleja de regreso al cristal y se ve como otra señal sobre la pantalla hacia la derecha de la primera señal. Si hay imperfecciones entre la superficie frontal y posterior del material, se delatará sobre la pantalla como una tercera señal entre las dos indicaciones correspondientes a las superficies frontal y posterior; la distancia entre indicaciones es una medida del espesor del material. Por tanto, la localización de un defecto puede determinarse con exactitud por la indicación que aparece sobre la pantalla.

En general la inspección ultrasónica se utiliza para detectar y localizar defectos como cavidades de contracción (rechupes), vacíos o fisuras internas, porosidad y grandes inclusiones no metálicas.

E. Inspección por corrientes eléctricas parásitas.

Las técnicas por corrientes parásitas se utilizan para inspeccionar eléctricamente materiales conductores en busca de-

defectos, irregularidades en estructura y variaciones en composición. En la prueba por corrientes parásitas, si una fuente de corriente se conecta a una bobina se produce un campo magnético variable. Cuando este campo se coloca cerca de una muestra a prueba, capaz de conducir una corriente eléctrica, se inducirán en la muestra corrientes parásitas. A su vez, estas corrientes producirán un campo magnético propio. La unidad de detección medirá este nuevo campo magnético y convertirá la señal en un voltaje que puede leerse en un medidor o en un tubo de rayos catódicos. Propiedades como la dureza, la composición de la aleación, la pureza química y la condición del tratamiento térmico influyen en el campo magnético y se puede medir directamente con el uso de una sola bobina. Un empleo importante que se da a la prueba por corrientes parásitas es la inspección de materiales para detectar posibles variaciones con el tratamiento térmico o con posibles derivaciones en la composición química.

Los métodos mencionados se utilizarán según el caso y el uso que se le vaya a dar a la muestra, así como el tipo de muestra. (22) (26) (28)

1.5 Composición de la aleación dental.

La composición está basada en la especificación número 1 de la Asociación Dental Americana, que establece los límites de la composición, porque no se dispone de una prueba satisfactoria de deslustrados o corrosión. Lamentablemente, ningun

no de los ensayos de corrosión actuales permite buenas correlaciones con los trabajos clínicos. Por ello, los límites de composición proporcionan ciertas pautas respecto a la resistencia a la corrosión. Ellos también prohíben la inclusión de metales dañinos, tales como el plomo.

La tabla (1.3), contiene la composición promedio de 83 aleaciones comerciales certificadas por la Asociación Dental Americana.

Estas composiciones no se apartan mucho de la relación de tres partes de plata y una parte de estaño y se ha comprobado la eficacia de esta proporción básica de los ingredientes principales.

Tabla 1.3. Composición típica de aleaciones dentales. (24)

Metal	Promedio (porcentaje)	Variación (porcentaje)
Plata	69.4	66.7 - 74.5
Estaño	26.2	25.3 - 27.0
Cobre	3.6	0.0 - 6.0
Cinc	0.8	0.0 - 1.9

La fabricación de las aleaciones modernas para amalgama no consiste, sin embargo, en la mera fusión de la plata y estaño en una relación de tres a uno. La mayoría de los fabricantes modifican sus aleaciones con el propósito de alcanzar características de manipulación y propiedades físicas óptimas.

Las aleaciones dentales con alto contenido de cobre se han incrementado rápidamente en los tres últimos años. De hecho, se ha estimado recientemente que el 65 por ciento de todas las aleaciones de amalgama vendidas contienen una proporción de cobre que va del cuatro al 30 por ciento. Estas nuevas aleaciones se pueden diferenciar de sus antecesoras en un número de aspectos que veremos adelante.

Para comprender totalmente lo que se estudiará a continuación, se revisará el diagrama de composición del sistema plata-estaño aunque no incluye el contenido de cobre y cinc, se adecua a éste propósito.

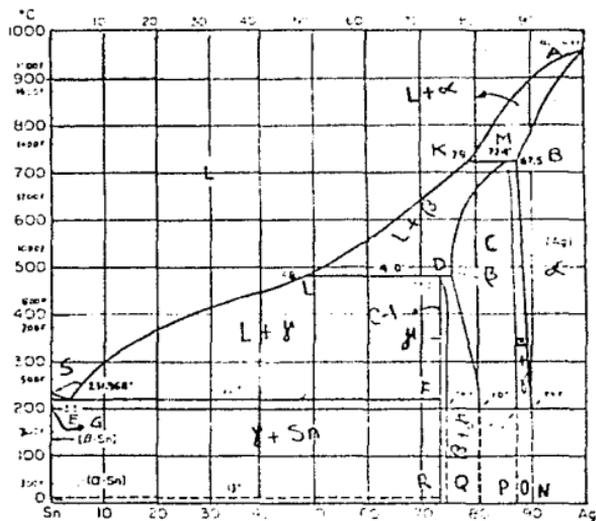
En la figura 1.4, se muestra el sistema plata-estaño. La mayoría de las aleaciones para amalgama dentales tienen un intervalo de composición estrecho que cae dentro de las zonas $\beta + \gamma$ y γ del diagrama de la figura 1.4. Estas zonas se hallan encerradas por las líneas PCDFR. En el punto D, está el compuesto intermetálico Ag_3Sn , formado por la reacción peritética a partir de la zona líquida más β , que se halla encima. Esta es la fase γ . La fase β es una solución sólida de estaño en plata.

La mayoría de las aleaciones comerciales se encuentran dentro del margen de composición limitada por C y D y no están exactamente en el punto de composición peritética. (1) (2)

Para las normas clínicas actuales, las aleaciones compuestas únicamente por la fase γ (Ag_3Sn) son de fraguado muy lento. La mezcla acertada de las fases γ y β hace posible me-

mejorar las propiedades de la aleación. Esto se realiza fácilmente desplazando levemente hacia C la relación plata-estaño. Sin embargo, en este punto el tratamiento térmico de homogeneización adquiere importancia crítica si se requiere alcanzar los resultados adecuados. (25)

Fig. 1.4. Diagrama binario plata-estaño.



Composición (porcentaje plata)

Si se considera, por ejemplo, el caso de una aleación de plata-estaño de composición C-1 dentro del diagrama presentado, que tienen 25.8 por ciento de estaño por peso. Esta composición está en el intervalo de C a D en el sistema. A medida que la masa fundida líquida de aleación C-1 se enfría lentamente, una parte del líquido empieza a solidificarse cuando el líquido es alcanzado a los 675°C .

La fase sólida que se forma al principio es una solución sólida β .

Al comienzo, el contenido de plata de esta fase es bastante alto, algo superior al 80 por ciento. Cuando la masa fundida sigue enfriándose y se precipita mayor cantidad de la fase sólida β , las dendritas que se forman van siendo progresivamente más pobres en plata. Esto se debe al fenómeno de nucleación, y es la causa de la estructura carente de homogeneidad de las soluciones sólidas de fundición.

Cuando el sistema se ha enfriado hasta el sólido (línea CDL del diagrama), el líquido restante se solidifica en una fase mixta de β y γ . La parte γ de la mezcla, al ser un compuesto intermetálico. (Ag_3Sn), es de composición homogénea. Sin embargo, la parte β no es homogénea a causa del efecto de nucleación. Las proporciones de β y γ en la mezcla a la temperatura del sólido (también a la temperatura peritéctica para la formación de γ) serán funciones de la composición inicial de la masa fundida, así como la velocidad de enfriamiento. El enfriamiento por debajo de la temperatura -

peritética, en condiciones de equilibrio, producirá una mezcla conocida de $\beta + \gamma$ o γ puro, según cuál haya sido la composición inicial de la masa fundida.

Si la masa fundida de la aleación inicial se componía de la composición peritética, la estructura de fundición presentará todavía las dendritas de la fase β rodeadas de γ . - Esta es una descripción no muy detallada, pero si muy ilustrativa de lo que pasa en el sistema plata estaño.

A continuación se presenta una serie de diagramas de fase-binarios que pueden ilustrar aún más el comportamiento de los componentes de la aleación dental. (1) (2)

Fig. 1.5. Diagrama binario Cobre-cinc.

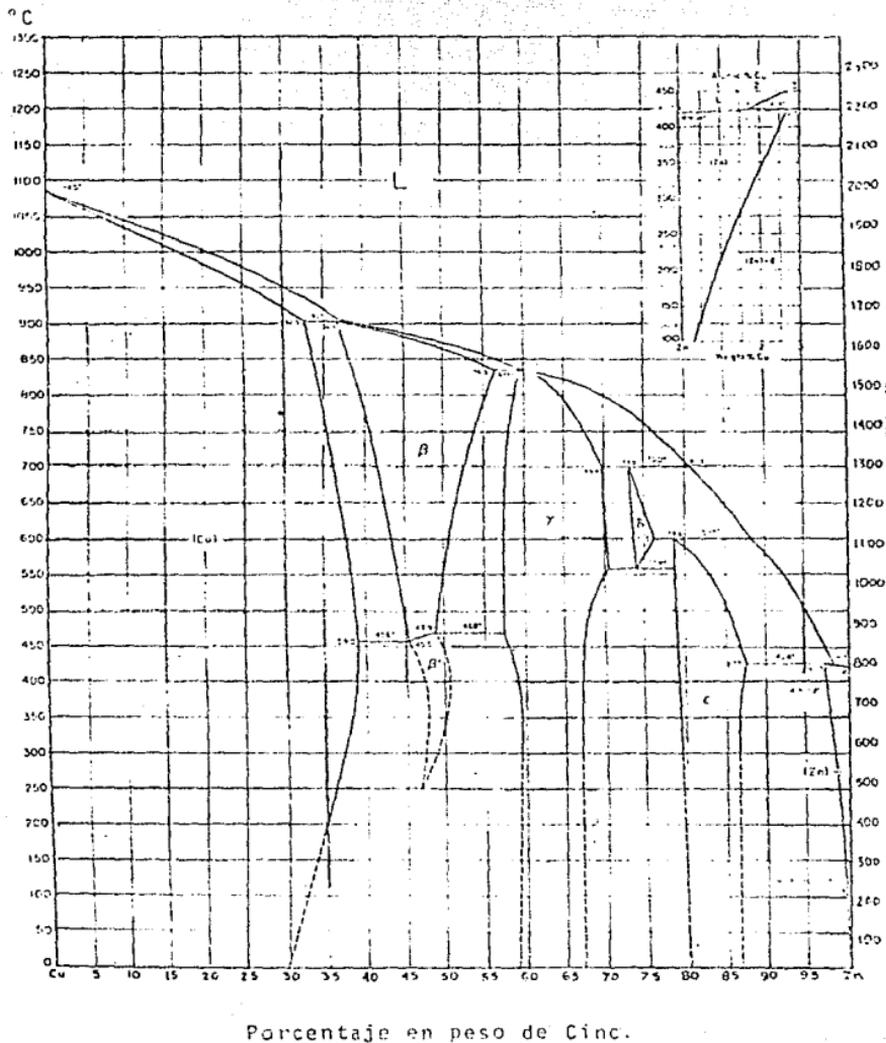
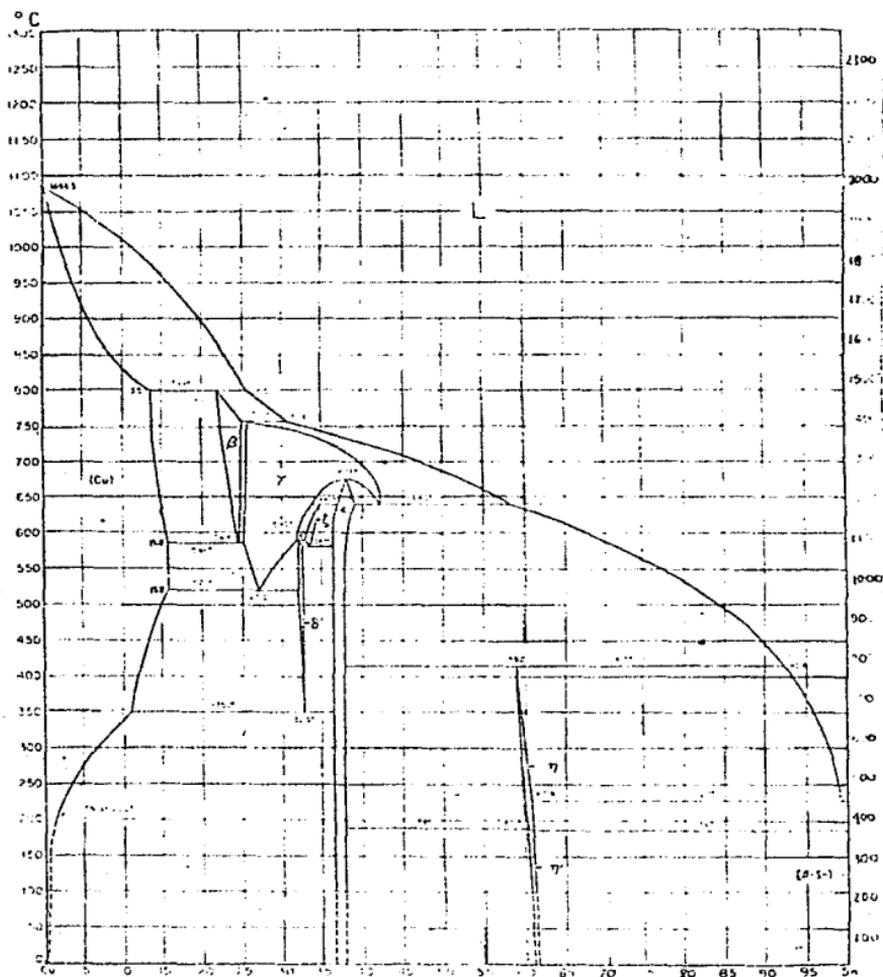
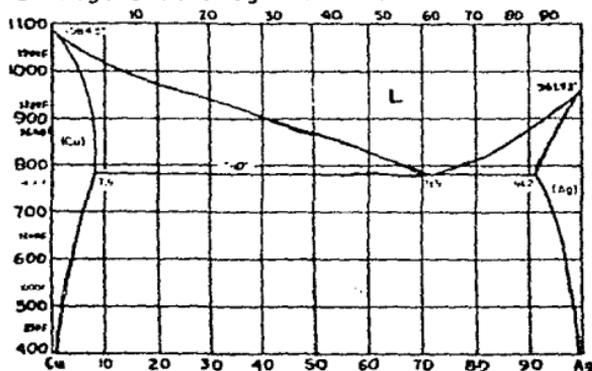


Fig. 1.6. Diagrama binario Cobre-Estaño



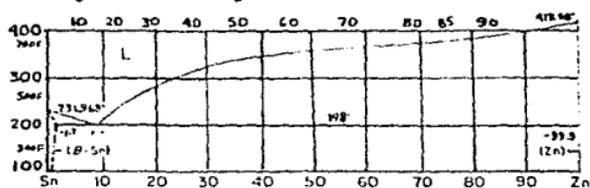
Porcentaje en peso de estaño.

°C Fig. 1.7. Diagrama binario Plata-Cobre.



porcentaje en peso de plata.

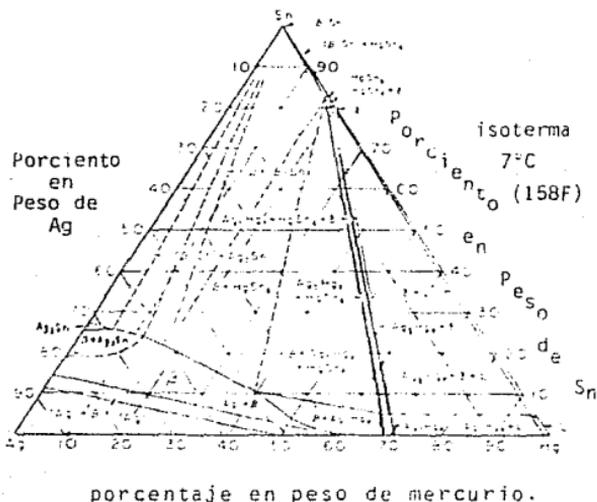
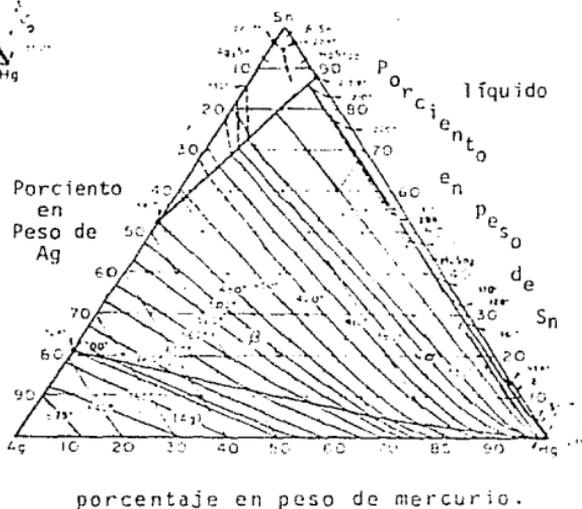
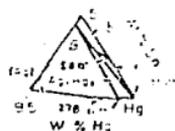
°C Fig. 1.8. Diagrama binario Estaño-Cinc.



porcentaje en peso de cinc.

Dentro de los sistemas ternarios se presentan algunos de importancia, para apoyo a este tema, pero sin detallarlos.

Fig. 1.9. Diagrama ternario (Plata-Mercurio-Estaño)



1.6 Efecto de los componentes de la aleación.

Plata.- Es el componente principal, aumenta la resistencia y disminuye el escurrimiento. Dentro de las composiciones prácticas, las aleaciones que contienen cantidades más elevadas de plata tienden a mostrar una mayor capacidad de reacción que las de menor contenido. Su efecto general es aumentar la expansión de la amalgama, (más adelante veremos las propiedades físicas de la amalgama).

Estaño.- Es el segundo componente importante, tiende a reducir la expansión o aumentar la contracción de la amalgama. Asimismo, reduce la resistencia y la dureza. Cuando en el proceso de amalgamación el estaño se combina con el mercurio, se forma una fase estaño mercurio, que es la más débil de la amalgama dental y la causa de la baja resistencia a la tracción, el escurrimiento alto y la mayor corrosión. Dentro de los límites prácticos de regímenes de expansión y reacción, convienen aleaciones con menor contenido de estaño.

Las aleaciones de plata-estaño son muy frágiles y resulta difícil triturarlas con uniformidad, salvo que incluyan pequeñas cantidades de cobre, para "sustituir" átomos de plata.

El grado de esta sustitución atómica está limitado a cuatro o cinco por ciento. Por lo tanto, el exceso de cobre se ve en los cortes metalográficos como una fase separada. Dentro del margen limitado de la solubilidad del cobre, el mayor contenido de cobre endurece y confiere resistencia a la

aleación de plata-estaño.

El escurrimiento disminuye y la expansión de fraguado tiende a aumentar. Sin embargo, si en la aleación original la cantidad de cobre supera a la de su solubilidad, se observan los efectos inversos. La resistencia de la amalgama decrece y el escurrimiento aumenta.

Cinc. El uso de éste en la aleación para amalgama es un tema sujeto a controversias. Raras veces lo hay en las aleaciones en cantidades mayores de uno por ciento y, probablemente, en cantidades tan pequeñas solo ejercerá una leve influencia en la resistencia y escurrimiento de la amalgama. Produce un efecto profundo en la naturaleza metalúrgica de la aleación. Las aleaciones que no contienen cinc son más frágiles en forma de lingote y sus amalgamas tienden a ser menos plásticas. Se usa principalmente como desoxidante.

1.7 Propiedades físicas de la amalgama dental.

En los puntos anteriores se ha hablado de la aplicación de la aleación que en este caso es la amalgama dental. Pues bien en este punto se mencionarán las propiedades físicas de la amalgama dental. No cabe duda que la manipulación de la amalgama por el odontólogo es un factor importante en la composición y las propiedades físicas de este material, así como sus consecuencias. (7) (8) (9)

1. Cambios en las dimensiones.

Se ha aceptado, por lo menos por razones teóricas, 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. En su origen, los límites de los cambios en las dimensiones establecidas en la especificación núm. 1 de la Asociación Dental Americana eran de cero a diez micrones - al final de 24 horas. Para permitir una trituración más minuciosa y modificaciones en las técnicas de ensayo, las especificaciones actuales extienden el margen permisible de los cambios durante el fraguado entre menos de 20 y más 20 micrones por centímetro. Por lo general, se usa una muestra de - unos 3mm de longitud y 4mm de diámetro para medir los cambios en las dimensiones.

Diversos son los factores que ejercen influencia en los cambios de dimensiones de la amalgama durante el fraguado. - Algunos de estos factores son los siguientes:

Efecto de la relación mercurio-aleación.

Aunque uno de los objetivos de la condensación es eliminar la mayor cantidad posible de mercurio libre, cuanto mayor es la cantidad de mercurio mezclada con la aleación, mayor es - la cantidad retenida en la amalgama para una determinada presión de condensación. Todo mercurio excedente del necesario - afecta al cambio de dimensiones.

Efecto de la trituración.

En la trituración de la amalgama intervienen dos factores, ambos ejercen un pronunciado efecto en el cambio de dimensiones de la amalgama, uno de los factores es la rotura de las partículas de la aleación, esto hace que las partículas ya no sean del mismo tamaño y ejerce una influencia definida en el cambio de dimensiones.

El otro factor que entra en juego es el tiempo de trituración. Cuanto más prolongado es éste, menor es la expansión o mayor es la concentración de la amalgama.

Efecto de la condensación.

Si la trituración se mantiene constante, el efecto del aumento de presión de condensación es reducir la expansión.

Siempre que se empleen técnicas aceptadas, las variaciones en la presión de condensación no ejercen influencia en el cambio de dimensiones que tenga importancia clínica. Las presiones de condensación y las técnicas tienen mucha mayor importancia en la obtención de la resistencia y escurrimiento.

Efecto del tamaño de partículas.

Es evidente que cuanto menor es el tamaño de las partículas, menor es la expansión aplicando la misma técnica de preparación.

En realidad no es el tamaño de partícula lo que sea importante en función de su volumen, sino en función de su superficie externa. Para su determinado peso de aleación, cuanto-

mayor es la superficie total de todas las partículas se favorecen la disolución más rápida del mercurio en las partículas de la aleación durante la trituración; el resultado es que se produce una gran contracción inicial de la amalgama.

Efecto de la contaminación.

Hasta ahora, todas las observaciones de los cambios de dimensiones de las amalgamas de plata eran de 24 horas de duración. Aunque hay expansiones y contracciones pequeñas de algunos micrones durante los meses y años sucesivos, los cambios de dimensiones son mínimos después de 24 horas. Sin embargo, si la humedad llega a contaminar la amalgama, se produce una expansión considerable. La expansión comienza entre los tres y cinco días, alcanzando valores superiores a 400 micrones por centímetro.

2. Resistencia.

Es obvio que 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.

Es muy difícil identificar la propiedad principal, o propiedad a que se debe el fracaso de la restauración. Lo tradicional durante muchos años fue la medición de la resistencia de la amalgama dental bajo compresión, usando una muestra cilíndrica de dimensiones comparables al volumen de una restauración de amalgama característica. Medida de esta manera,

la resistencia a la compresión de una amalgama satisfactoria debe ser por lo menos 3200 kg/cm^2 .

La mayoría de las aleaciones representativas presentan una resistencia a la compresión superior a estos valores cuando se prepara en forma adecuada. La especificación núm. 1 de la actual Asociación Dental Americana no tiene un requisito de resistencia a la compresión.

Aunque la resistencia a la compresión no siempre es la principal propiedad física asociada con la fractura clínica de la amalgama, parece haber un ensayo seguro para determinar la resistencia a las fuerzas. Además, el valor de la resistencia a la compresión indica, dentro de márgenes razonables, el nivel de otras propiedades de resistencia. Agreguemos las variables de manipulación influyente en la resistencia a la compresión, por lo general ejercen efecto comparable en las propiedades mecánicas.

La resistencia a la compresión de la amalgama se mide, por lo común, a la temperatura ambiente. De particular interés clínico es la resistencia correspondiente a temperaturas elevadas.

Hay un gran efecto de la resistencia con respecto a la temperatura, pues se observa que a 60°C la temperatura posible de un café, la resistencia es de 50 por ciento de la temperatura ambiente. Incluso a la temperatura del cuerpo, 37°C se produce una pérdida de la resistencia de más o menos 15 por ciento. Existen otros factores que afectan a la resistencia-

y son:

Efecto de la trituración.

El tiempo de trituración con respecto a la resistencia es mucho menor a los diez segundos que a los 30 segundos. La resistencia va aumentando y después se estabiliza alrededor de 40 segundos de trituración en las condiciones experimentales dadas.

Efecto del contenido de mercurio.

Un factor muy importante en la regulación de la resistencia es el contenido de mercurio de la restauración. Hay que incorporar a la aleación la suficiente cantidad de mercurio para cubrir las partículas de aleación y permitir una amalgmación completa. Cada partícula de la aleación debe ser mojada por mercurio; si no, se obtiene una masa granulosa y seca. Esta mezcla deja una superficie rugosa y picada que invita a la corrosión. Sin embargo, todo exceso de mercurio que quede en la restauración reduce notablemente la resistencia.

Cuando el contenido de mercurio está entre los límites de 45 a 53 por ciento, no produce efecto alguno en la amalgama, cuando excede la cantidad de mercurio baja notablemente la resistencia.

Efecto de la condensación.

La presión de condensación, así como la técnica, afectan a la resistencia. Cuando se emplean técnicas típicas de conden

sación, mayor es la resistencia a la compresión.

Efecto de la porosidad.

Se pensó que la porosidad inherente a la microestructura de la amalgama fuera un posible factor de importante función en la resistencia a la compresión de la amalgama endurecida. Sin embargo, se comprobó que el aumento de uno por ciento de la porosidad reduce la resistencia a la compresión diez veces más que el aumento de uno por ciento del contenido final del mercurio.

Estos datos sugieren que la porosidad es tan importante como el contenido final de mercurio en la regulación de la resistencia de la amalgama. Se considera que esta porosidad guarda relación con una serie de factores incluyendo la plasticidad de la mezcla.

Régimen de endurecimiento. Reviste considerable interés para el odontólogo. El paciente suele ser despedido del sillón a los 20 minutos de realizada la trituración de la amalgama, y la interrogante de si la amalgama ha adquirido suficiente resistencia para poder funcionar es vital. Es probable que un elevado porcentaje de las restauraciones de amalgama que se fracturan lo hagan a poco de su inserción.

La amalgama no adquiere resistencia con la rapidez que hubiera convenido. Al final de 20 minutos, por ejemplo, la resistencia a la compresión es de 6 por ciento de su resistencia al final de la primera semana.

El régimen de endurecimiento o fraguado es importante para evaluar el momento en que hay que retirar la matriz de retención o para determinar el momento que el operador puede tallar sin peligro la restauración.

3. Escurrimiento y corrimiento.

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.

Para valorar estas características, se somete un cilindro de amalgama, de cuatro mm de diámetro y ocho mm de longitud a una determinada carga durante cierto tiempo después de la trituration (por lo común tres horas). La disminución porcentual de la longitud durante las siguientes 21 horas se denomina escurrimiento. Según los requisitos de la especificación núm. 1 de la Asociación Dental Americana, no debe exceder de tres por ciento en las condiciones de ensayo especificadas.

El corrimiento se refiere a la deformación en función del tiempo producida por una fuerza, en un sólido completamente fraguado. Es así que el corrimiento puede ser una propiedad significativa para describir la deformación de la restauración clínica, pues por lo general las fuerzas de masticación actúan después del total endurecimiento de la amalgama. (10) (11) (12) (27)

C A P I T U L O D O SM A T E R I A L E S Y M E T O D O S

2. MATERIALES Y METODOS.

2.1 Hornos de fundición.

Existen cuatro tipos principales de hornos para la preparación de aleaciones en el laboratorio, y en orden decreciente de su campo de aplicación son:

- A) Fusión por inducción eléctrica de alta frecuencia.
- B) Fusión por combustión de gas-aire.
- C) Fusión por resistencia eléctrica.
- D) Fusión con arco eléctrico.

A) Fusión por inducción eléctrica de alta frecuencia.

El calentamiento con inducción de alta frecuencia es el método general más útil, ya que se puede emplear en el intervalo más amplio de temperaturas y además es rápido, limpio y de uso conveniente.

Para fundición de cargas aproximadas a los 12 kg, el equipo de chispa tiene muchas propiedades que hacen recomendable su empleo, sobre todo desde el punto de vista de costo inicial bajo, simplicidad (por consiguiente costo de mantenimiento bajo), adaptabilidad para un gran número de metales y temperaturas de fusión y de seguridad para el operador. En la figura 2.1, presenta un conjunto de crisol y bobina de alta frecuencia. Entre la espiral y el crisol existe un aislamiento térmico formado por una capa de polvo refractario, que deberá tener aproximadamente 1.2 cm de espesor. Sin em-

bargo, justamente dentro de la bobina se encuentra un aislante eléctrico formado por una capa de mica que impide la formación de un arco entre la espiral y el crisol y sirve, además, como recipiente del polvo refractario. La parte superior del refractario caliente se cubre con algún cemento refractario que mantiene al polvo en su lugar, de modo que el conjunto de crisol y espiral puede volcarse para vaciar el material calentado sin derramar el aislamiento. Se puede moldear una boca de vaciado en el cemento de la parte superior, si es que no se utiliza un crisol con labio proyectado.

Los crisoles empleados en la fundición con alta frecuencia pueden ser conductores eléctricos como el grafito-arcilla, grafito, carburo de silicio-grafito o pueden no ser conductores como la magnesia o la alúmina.

Ya que el crisol está más cerca de la bobina de alta frecuencia que la carga misma, se tendrá un calentamiento más eficiente si aquel es conductor. La fundición por alta frecuencia es especialmente adaptable a la del vacío o al uso de una atmósfera de gas inerte.

B) Fusión por combustión gas-aire.

La fundición en horno de gas tiene la ventaja de que es rápida y requiere un equipo muy barato para el trabajo en pequeña escala. Una desventaja de los hornos de gas, donde el crisol está expuesto a los productos de combustión, es la absorción de gases indeseables, como el hidrógeno, por el me--

tal que se está fundiendo. También se debe tomar la precaución de ventilar el horno de manera que se remuevan los productos de combustión y salgan del área de trabajo. Además, como se usa comúnmente, la fundición con gas no puede producir temperaturas tal elevadas como en la efectuada por inducción de alta frecuencia ni es tan convenientemente adaptable a la fusión en atmósfera inerte o en vacío. Aunque en condiciones especiales, como el utilizar aire enriquecido con oxígeno, son posibles en un horno de gas temperaturas cercanas a 2000°C , no siendo alcanzables tales temperaturas con una mezcla simple gas-aire. El límite superior en la práctica para un horno simple, del tipo que se describirá en seguida, es de 1200°C .

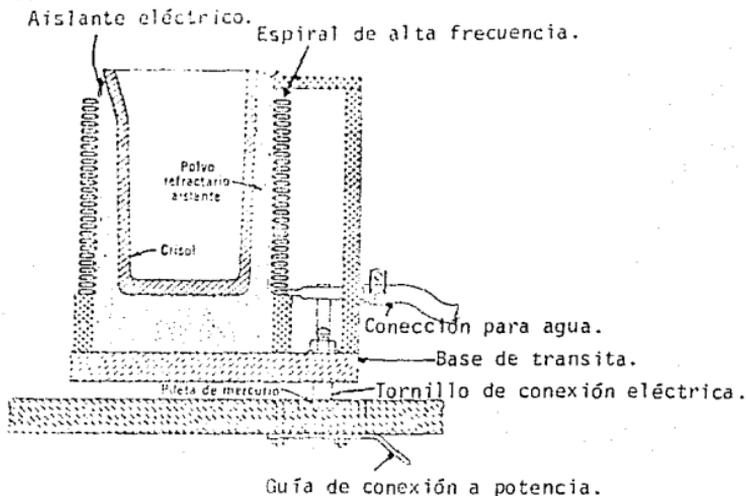


Fig. 2.1. Representación esquemática de un horno para fusión por inducción eléctrica de alta frecuencia. (Conjunto de espiral de alta frecuencia y crisol).

En la figura 2.2, aparece un horno de gas de olla, que se puede construir fácilmente, cuya cámara de combustión tiene cerca de 20 cm. de diámetro y es, más o menos, de la misma altura. La parte exterior del horno puede ser una lata de desecho de unos 30 cm. de diámetro y de más o menos la misma altura. El fondo de la lata se recubre con trozos de ladrillo refractarios, en un espesor de cinco a ocho cm. Para mantener este recubrimiento en su lugar y obtener una superficie de trabajo sólida, se extiende sobre el fondo una capa de cemento de silemanita, de un espesor aproximado a 2.5 cm. Se construyen los lados extendiendo la misma mezcla alrededor de una forma de manera ligeramente ahusada y de un tamaño igual al deseado en la cámara de combustión. Cuando se ha apisonado firmemente la mezcla hasta la parte superior de la lata, se retira el molde. Se debe dejar un agujero de 2.5 cm. a cuatro cm a través de la pared del horno, para introducir el quemador. Este hoyo se debe localizar cerca del fondo del horno y dirigirse tangencialmente a la pared del mismo. Se puede hacer mientras la mezcla está aún húmeda o formarse poniendo como núcleo un cilindro del diámetro correcto antes de extender la mezcla. Después de unas horas de secado, se debe encender el horno y activar el secado quemando el gas a una velocidad baja. Después de alguna experiencia, se aprende cómo ajustar el quemador de gas para un calentamiento máximo; la llama tangencial envuelve interiormente al crisol y el calentamiento es sorprendentemente uniforme. El ca-

lor de la llama de gas cambia en la parte superior del horno desde el azul al amarillo a medida que las condiciones interiores cambian desde oxidantes a reductoras. Se debe dejar - aproximadamente las paredes del horno y el crisol 2.5 cm., - para permitir la circulación del gas que se está quemando. - El aire requerido necesita suministrarse a muy poca presión, pero se pueden usar presiones más altas, si se regula con - una válvula.

Esto es a grandes rasgos lo que es un horno de fusión - gas-aire.

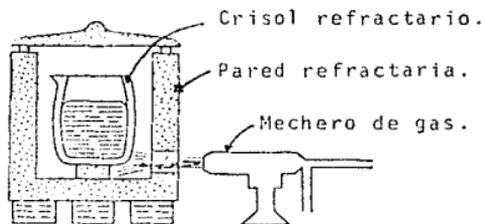


Fig. 2.2. Horno de gas, en donde se muestra como se adapta el crisol.

C) Fusión por resistencia eléctrica.

Los hornos de resistencia eléctrica se usan frecuentemente para la presión de aleaciones de bajo punto de fusión de plomo, cinc, estaño, etc., y más raramente para metales de punto de fusión elevado, ya que el calentamiento por inducción de alta frecuencia es ordinariamente más conveniente para este fin.

Como no existen gases combustibles en la atmósfera de un horno de resistencia eléctrica, la atmósfera de fusión parece mejor que la de un horno de gas de mufla abierta, donde los productos de combustión barren las paredes del crisol. Sin embargo, la mezcla húmeda del aire puede causar problemas, aunque no se presenten otros gases.

En la figura 2.3, muestra un horno adecuado para la fundición con resistencia eléctrica. El alambre de resistencia de 80 por ciento de níquel y 20 por ciento de cromo es el elemento calefactor más comúnmente usado, pero, se dispone de otros elementos de punto de fusión más elevado. Los elementos calefactores más refractarios como el platino, y aleaciones especiales se emplean generalmente para aplicaciones de tratamiento térmico.

D) Fusión con arco eléctrico.

La fundición con arco eléctrico, excepto para unos cuantos experimentos aislados de fundición de metales de punto de fusión extremadamente elevado, se había usado raramente como un método de laboratorio hasta que se desarrolló su interés en la metalurgia del titanio. El metal forma su propio crisol, teniendo el cobre frío la función de mantener, cuando menos, una capa delgada de titanio o circonio, etc., solidificada en el fondo y en los lados del cobre.

En la figura 2.4, se muestra un horno de este tipo. Por consiguiente al incidir un arco entre un electrodo de wolframio que se encuentra encima y las piezas de la carga que se encuentran abajo del electrodo, se puede fundir solamente la capa superior de la carga, mientras que las que están en contacto con el cobre frío permanecen sólidas. Para poder fundir completamente la carga, se debe invertir ésta, y lo que fue primeramente el fondo, se funde en una segunda operación. Sin embargo, añadiendo más carga durante la operación de arco, se puede fundir más y más metal, trabajando capa por capa, hasta obtener un lingote de cierto tamaño.

Se mantiene ordinariamente una atmósfera de argón dentro de la cámara, para evitar la contaminación con oxígeno o nitrógeno, ya que tanto el titanio como el circonio se tornan frágiles al contaminarse con estos gases. El electrodo superior es un rodillo de cobre o acero enfriado con agua y recubierto en su punto con wolframio para permitir la formación del arco sin dañar el rodillo de cobre.

Una desventaja de este método de fundición es el control deficiente que se tiene sobre la homogeneidad al hacer aleaciones. Como cabría esperar, al fundir de una vez solamente un poco de la carga existe una tendencia muy marcada en la adición de elementos aleantes a segregarse en el lingote que se está formando. Una nueva fundición ayuda considerablemente a reducir una segregación severa, pero la segregación es, de todos modos, un problema. Es factible preparar rodillos -

2.2 Crisoles.

En este punto se hará referencia a los crisoles como materiales refractarios más comunes utilizados en fundición.

Se pueden definir como refractarios, de una manera muy general, aquellos materiales no metálicos, que soportan temperaturas muy elevadas sin fundirse, sin sufrir una deformación excesiva o sin experimentar cambios de composición. Existe una gran cantidad de requisitos que debe llenar un material refractario para considerarse como tal; pero las condiciones más importantes para el metalurgista, son probablemente las siguientes:

- A) Habilidad para procurar un aislamiento térmico.
- B) Trabajar el refractario como un material estructural de alta temperatura.
- C) Servir como soporte del enrollamiento metálico en hornos de resistencia eléctrica.
- D) Que pueda utilizarse como recipiente para metales líquidos.

En éste punto es de gran interés para los crisoles dentro de la clasificación de los refractarios y que se debe conocer algo acerca de las propiedades siguientes de estos:

- 1.- Punto de fusión.
- 2.- Conductividad térmica.
- 3.- Resistencia a temperaturas elevadas.
- 4.- Coeficiente de expansión térmica.

5.- Capacidad de ser químicamente inerte a los metales líquidos y a su entorno.

6.- Resistencia al choque térmico.

7.- Conductividad eléctrica a temperaturas altas.

La resistencia al choque térmico es una cualidad derivada, - que depende principalmente de los coeficientes de expansión y conductividad térmica, y en menor grado de la resistencia-mecánica a temperaturas elevadas el cual es el interés primario en usos industriales los que incluyen estructuras grandes y pesadas, en el laboratorio de metales no es generalmente un factor primordial.

El problema más difícil respecto a refractarios para el investigador metalurgista, consiste en encontrar un crisol - inerte al metal que se funde en él. Probablemente, ningún crisol es completamente inerte, pero el criterio general para aceptarlo o rechazarlo radica en la magnitud del cambio - en las propiedades del metal usado por la contaminación del crisol. Los límites de contaminación oscilan entre los casos en que no hay cambios detectables en las propiedades como resultado de la fusión, y en la alteración drástica de la propiedad del metal acompañadas de la detección del crisol.

En la tabla 2.1, figuran los metales que se recomienda fundir en los diversos refractarios. Los crisoles con base de carbono, tal como los de grafito-arcilla, grafito y Tercod - ($C + SiC$), obviamente no deberían usarse como metales que -

formen carburos. Aunque la sílice fundida es perfectamente aceptable como crisol para la fusión de la mayoría de los metales de punto de fusión bajo, se usa raramente, porque se encuentran crisoles más baratos, tan buenos y en algunos aspectos mejores, que los de sílice fundida. Las mismas consideraciones se pueden hacer en cuanto a los crisoles de arcilla quemada, mulita, carburo de silicio, estearita y vycor (96 por ciento de SiO_2 y 3 por ciento de B_2O_3).

Para la mayoría de los refractarios importantes, se incluyen, además, algunas observaciones acerca de las principales usos y sus casas proveedoras. Se notará que el punto de fusión dado en la tabla es el indicado para sustancias esencialmente puras, sin embargo, cuando la sustancia tiende a fallar antes de llegar a su punto de fusión, se fija el valor máximo de temperatura útil. También se señala la temperatura máxima de trabajo, cuando se dispone de esta información, de materiales más estables; naturalmente que un refractario no puede usarse exactamente en su punto de fusión.

Se explicará de forma somera acerca de los refractarios mostrados en la tabla mencionada, además de que, son los más usados en la aleación dental, y en algunos casos sólo se utilizan en la fusión de alguno o algunos componentes de la aleación dental, pero se consideran de importancia.

ALUMINA. Es el refractario más usado en el laboratorio metalúrgico, porque se obtiene con una pureza muy alta, por su punto de fusión elevado, por su baja reactividad. por su re-

sistencia al choque térmico regular y por su conductividad eléctrica muy baja a temperaturas elevadas. Es esta última propiedad, en unión de alguna de las ya mencionadas, la que hace que la alúmina sea un material de empleo casi universal en la construcción de tubos de horno y muflas sobre las cuales va el devanado de las resistencias eléctricas metálicas.

Con respecto a crisoles, la alúmina no es muy resistente a los óxidos de metales básicos, como el óxido de hierro, a diferencia del óxido de magnesio, por tanto, no es recomendable para la fundición de metales del grupo del hierro, particularmente en la fundición al aire o donde los óxidos de estos metales se encuentran presentes. Sin embargo, últimamente ha sido posible obtener un crisol de alúmina altamente fundida y de gran pureza y mucho menos susceptible a la reacción con los óxidos metálicos que los crisoles de quemado bajo y de menor pureza. Estos nuevos crisoles tienen la apariencia y el carácter translúcido de la porcelana, y parecen ofrecer una solución al problema de fundir materiales moderadamente reactivos sin un cambio apreciable de su composición.

GRAFITO-ARCILLA. Se usa mucho como material de crisol para la fundición de metales no ferrosos. Es posible obtenerlo en una gran variedad de tamaños y formas de crisol. El grafito-arcilla como su nombre indica, es una combinación de estos materiales en la cual el grafito se mantiene unido mediante una red de arcilla. En este material se conjunta la conducti

vidad térmica elevada del grafito con la flexibilidad y resistencia de la arcilla. Debido a esta naturaleza doble, no se oxida en el aire tan rápidamente como el grafito puro y no está sujeto al choque térmico como la arcilla quemada pura; por consiguiente, éste es un material muy empleado en la construcción de crisoles extremadamente útiles en la fusión de una gran variedad de metales que corroen fácilmente al carbón. Es posible encaminar el interior del crisol con un cemento de magnesia, por ejemplo, y usar el crisol encaminado para la fundición de metales que formen rápidamente carburos o que disuelvan al carbón, tal como el hierro y el níquel.

ARCILLA QUEMADA. Estos crisoles no se emplean mucho actualmente aunque fueron comúnmente usados en algunas épocas para la fundición de materiales no ferrosos. Debido a su bajo costo, todavía se utilizan en operaciones como los ensayos de quemado en que no son de importancia la pureza y la inactividad química alta. El grafito-arcilla, con una resistencia superior al choque térmico y una inactividad mayor, ha reemplazado en la mayoría a sus aplicaciones a la arcilla quemada. La arcilla quemada no es muy estable y puede introducir impurezas en los fundidos de alta pureza; por consiguiente, no es tan refractaria como la alúmina o magnesia y se limita a trabajar en temperaturas del orden de 1600°C o menores, dependiendo de la cavidad particular que tenga la arcilla quemada que se emplee.

GRAFITO. Es un material de laboratorio extraordinariamente útil debido a su inactividad química (excepto con el oxígeno a temperaturas elevadas), alto punto de fusión, conductividad eléctrica, conductividad térmica elevada, resistencia regular, la cual no es afectada por las temperaturas elevadas y por su maquinabilidad.

Muchos refractarios poseen algunas de estas cualidades y son mejores que el grafito respecto a una o dos de esas cualidades, pero ninguno de ellos tiene una conductividad térmica y eléctrica elevada y, sobre todo, la cualidad de maquinabilidad.

El grafito como crisol, tiene la desventaja de que se deshace rápidamente en el aire y a temperaturas elevadas, debido a la oxidación, pero a menudo es posible protegerlo igual que su carga por fusión en atmósfera inerte o en vacío. Naturalmente, no se puede usar para fundir metales que formen carburos; pero en la fundición de metales como el aluminio o cobre, tienen la ventaja de ser mínima la adquisición de impurezas provenientes del crisol; y ya que los metales que no forman carburos no mojan al grafito, puede "vaciar" el crisol. Se puede utilizar el crisol de grafito en los casos en que el carburo formado tenga una solubilidad limitada en el metal, porque no hay alternativa de usar un crisol satisfactorio.

Como el grafito tiene un coeficiente de expansión muy bajo y una conductividad térmica elevada, se puede calentar o en-

friar tan rápidamente como se desee, sin peligro de rotura.- Esta propiedad hace posible que se use como molde para la colada de metales y, en realidad, se emplea mucho para tal propósito.

TERCOD (carburo de silicio-grafito). Es un material competidor del grafito-arcilla utilizado en crisoles y con propiedades similares. Los crisoles de Tercod, como no contienen arcilla de unión son preferidos en algunos casos especiales, a los de grafito-arcilla como cuando es necesaria una cubierta de fundido de un fundente reactivo por ejemplo, el boraxo como en algunos tratamientos de desgaseado. Otro fabricante, cuando menos, fabrica formas de grafito carburo de silicio -enlazado, que incluyen crisoles, pero no los llaman por este nombre. Aunque el Tercod se usa principalmente en formas de crisoles, también puede encontrarse en bloques, tubo y ciertas formas especiales.

Al principio de este punto se dijo que en muchos casos los crisoles presentan el problema de refractarios más complejos para el metalurgista debido a la reacción más o menos fuerte entre el fundido y el crisol.

Entre el fundido y el crisol son posibles muchos tipos de reacción no vistas en este trabajo por no ser el objetivo de esta tesis.

Tabla 2.1. Representación esquemática de algunos crisoles y sus propiedades físicas, así como casas proveedoras de éstos.

Refractario	Composición	Coefficiente de expansión térmica X 10 ⁶ °C	Conductividad térmica Cal/seg/°C X10 ⁴	Resistividad eléctrica Ohms/cm ³
ALUMINA	Al ₂ O ₃	6-9- (20-1000) °C	89.7 (125°C) 72.5 (510°C) 59.6 (980°C) 55.2 (1125°C)	3 x 10 ¹³ (a 300°C)
GRAFITO- ARCILLA	C + xSiO ₂ y Al ₂ O ₃
ARCILLA QUE- MADA	xSiO ₂ y Al ₂ O ₃	7 (930°C)	34.5 (930°C)	10.8 x 10 ¹³ 50.0 x 10 ¹³ (1000°C)
GRAFITO	C	1.8 (TA) 2.5 (1000°C)	1650 (800°C) 2180 (400°C) 4000 (32°C)	8 x 10 ⁻⁴ a 13 x 10 ⁻⁴ (20°C)
TERCOD	C + SiC	2.7	345	9.1 x 10 ⁻³ (815°C)

(Tabla 2.1. Continuación).

Refractario	Punto de fusión °C.	Usos principales en el laboratorio.	Formas comerciales.	Crisoles recomendados para la fusión.
ALUMINA	2050	Construcción de núcleos de resistencia eléctrica.	Tubos, ladrillos, crisoles, rodillos, etc.	Al, Sb, Bi, Cd, Co, Cu, Ca, Au, In, Fe, Pb, Ni, Pd, Pt, Ag, Ti, Sn y Zn.
Grafito- Arcilla	1600	Fusión de metales.	Crisoles.	Al, Sb, Bi, Cd, Cu, Ga, Au, In, Pb, Tl, Ag, Sn, Zn y Ge.

Continúa.....

Refractario	Punto de fusión °C.	Usos principales en el laboratorio.	Formas comerciales.	Crisoles recomendados para la fusión.
Arcilla Quemada	1600	para todos usos.	Ladrillos, crisoles y partes de horno.	No se recomienda para tener una pureza alta.
Grafito	3500	Crisoles, moldes, formas especiales maquinadas.	Rodillos, tubos, bloques.	Los mismos para grafito-arcilla.
Tercod	1650	Fusión de metales no ferrosos.	Principalmente crisoles.	Igual que Grafito-A.

2.3 Procedimiento para fundir metales.

Existen ciertos problemas para fundir metales y más aún cuando se funden varios; por tanto, es importante hablar de algunos procedimientos en forma general. (26)

2.3.1 Adición de metales aleantes.

No existe una práctica establecida que gobierne la secuencia para hacer la adición de metales, pero el procedimiento está gobernado por el punto de fusión, reactividad, volatilidad y cantidad de los constituyentes aleantes. Cuando se prepara una aleación rica en un constituyente, tal como el cobre en una aleación a base de cobre, éste se funde primero y se añade más tarde el constituyente menor. Si el metal añadido tiene un punto de fusión muy elevado su solución se apresurará sobrecalentando el disolvente, particularmente si éste puede calentarse a un punto sobre el de fusión del soluto.

Si el metal aleante tiene un punto de fusión bajo, comparado con el cobre, como el estaño, el cobre debería calentarse justamente encima de su punto de fusión; o el estaño debe añadirse aún antes de que el cobre se haya fundido completamente, pues, a medida que se disuelve el estaño, baja el punto de fusión de la aleación y la temperatura del fundido puede luego ser mantenida baja para prevenir una oxidación excesiva o pérdida de constituyentes aleantes. La aleación a una temperatura tan baja como sea posible es particularmente importante cuando la adición es un material volátil, como el cinc. En general, la temperatura debería mantenerse tan baja como sea posible para evitar la reacción con la atmósfera - pérdida de constituyentes volátiles y la posible reacción con el crisol.

Después de que se haya añadido el metal aleante, la velocidad de disolución puede aumentarse considerablemente con una agitación vigorosa.

Si se va hacer una aleación que contiene aproximadamente partes iguales de los metales, usualmente sería lo mejor si se fundiera primero el metal de punto de fusión más bajo a fin de evitar un sobrecalentamiento.

2.3.2 Gases en metales.

La mayoría de los metales reaccionan con el oxígeno, el nitrógeno e hidrógeno, los tres de importancia principal en las operaciones de fusión, ya que todos están presentes en -

el aire, principalmente el hidrógeno, en forma de vapor de agua. Sin embargo, el vapor de agua se descompone fácilmente en hidrógeno y oxígeno en contacto con los metales calientes, que actúan como agentes catalíticos en esta reacción.

El nitrógeno es generalmente poco reactivo en comparación con otros gases debido a su naturaleza comparativamente inerte, reaccionando mucho más lentamente con la mayoría de los metales que el oxígeno e hidrógeno. Para disolverse en los metales, los gases moleculares como el O_2 deben romperse a su forma atómica.

Cuando se funde en aire es importante utilizar un desoxidante es decir, un elemento que tenga afinidad alta por el oxígeno. La cantidad de desoxidante utilizada es difícil de especificar exactamente ya que la de oxígeno en el fundido es desconocida. No obstante una adición de desoxidante, por el común del 0.1 por ciento en peso, es más que suficiente para tener en cuenta las cantidades normales de oxígeno encontradas en una práctica de fusión aceptable.

2.3.3 Cubiertas protectoras en fundición.

Existen varios tipos de cubiertas protectoras las cuales se pueden utilizar en la fundición al aire para evitar una oxidación excesiva del fundido. Estas incluyen el carbón molido, vidrio y un flujo de gas inerte.

Se usa frecuentemente el carbón al hacer aleaciones de cobre, y para mantener en cierto estado los metales de punto

de fusión más bajo como el plomo, por períodos de tiempo largo. El carbón debe estar completamente seco.

Las cubiertas de vidrio, bien de botella o de tetraborato de sodio fundido (vidrio de borax) se han empleado mucho para proteger aleaciones de cobre durante la fusión. El vidrio de borax es muy reactivo con los crisoles de grafito-arcilla por lo que se deberan usar en su lugar los crisoles Tercod.- El vidrio de botella es muy viscoso a las temperaturas ordinarias de las aleaciones de cobre y es muy sucio para eliminarse justamente antes del colado. Se puede añadir arena seca a cualesquiera de los dos vidrios para espesarlos lo suficiente para removerlos, enrollándolos en uno de los extremos; la arena u otro agente espesante es particularmente necesaria para el borax, el cual es extremadamente fluido a 1100°C.

Hay que destacar que las cubiertas de vidrio, en general, son únicamente útiles sobre fundidos hechos a temperaturas en el intervalo de las aleaciones a base de cobre, entre 1000 y 1200°C.

2.3.4 Fundición al vacío.

Debido al enorme progreso, la operación al vacío es común en el laboratorio; se considera como un procedimiento estándar para la preparación de metales puros o de aleaciones en que se desea obtener un mejor control de la composición, especialmente para evitar la reacción con los gases de la at-

mósfera. Como se mencionó al tratar la desoxidación, el empleo de desoxidantes puede dejar algún material residual en el fundido, posibilitando un cambio significativo en las propiedades del metal. Cuando no se pueden tolerar tales elementos residuales, la colada en vacío facilita una técnica que permite fundir y colar aleaciones sin riesgo de tal contaminación. Además, es posible purificar ciertos metales durante la fusión al vacío, eliminando especialmente las impurezas volátiles tales como el magnesio, azufre, manganeso y calcio. No solamente se evita la disolución de gases en el fundido sino que pueden eliminar en algunos casos, varios de los que se encontraban presentes originalmente en el lote fundido.

2.3.5 Fundición en gas inerte.

Para tener un control adecuado sobre la atmósfera en la fusión en gas inerte, es necesario conducirla en un equipo de vacío hermético. El objetivo es evitar completamente cualquier contaminación del aire. La fundición en atmósfera de gas inerte se usa en los metales demasiado reactivos como para poder fundirse al aire, o demasiado volátiles para fundidos en vacío.

El procedimiento ordinario consiste en evacuar la cámara de fusión como se hace en la fusión al vacío, pero se introduce argón o helio purificados antes de que se presente la fusión. La presión del gas inerte que se introduce depende de la reducción que se desee en la volatilización y el desga

sado del fundido que se quiera. Estos dos procedimientos son mutuamente exclusivos y luego se debe buscar alguna razón - práctica entre ellos. Si no fuera necesaria la remoción del gas del metal, se podría utilizar una atmósfera completa de gas inerte; pero el inconveniente de esto radica en la pérdida excesiva de calor por conducción y convección. Esta pérdida puede ser importante si se desea una temperatura aproximada a la límite alcanzable en el equipo de fundición al vacío; la temperatura máxima que podría obtenerse con una atmósfera de gas noble sería considerablemente más baja que la que tiene en vacío donde solamente las pérdidas de calor son debidas a la radiación.

En este caso es preferible el argón al helio, pues la conductividad térmica es más baja en el argón. (13)

2.4 Método de obtención de la aleación dental.

a) Fusión de los metales. En un crisol (grafito o Tercod), se funden plata, estaño y cobre puros, y vestigios de cinc. La temperatura de fusión es de 960-970°C, al fundir los metales y formar la aleación se agita vigorosamente y se cuellan en lingotes. Se toman precauciones especiales para mantener un medio no oxidante durante en vaciado al lingote. A causa del enfriamiento relativamente rápido del lingote, habrá una distribución desequilibrada de las fases de la aleación. Además la longitud del lingote tendrá granos grandes y pequeños. La composición de los granos del borde del lingote será dife

rente de la de los centrales o de los extremos. Para conseguir la composición uniforme de los granos, es necesario realizar un tratamiento térmico de homogeneización. (27)

b) Ablandamiento homogeneizante.

Como se mencionó que debido al rápido enfriamiento de la estructura de fundición, tiene granos de diferente y diversos tamaños compuestos de una mezcla de fase beta y gama. Para volver a establecer la relación de equilibrio de fase, se realiza un tratamiento térmico de homogeneización. Se coloca el lingote en un horno, se calienta a una temperatura inferior al punto de fusión de la aleación el tiempo suficiente para permitir que los átomos se difundan y las fases lleguen al equilibrio. La temperatura ideal para este equilibrio es de 400 a 450°C.

El tiempo de tratamiento térmico varía de acuerdo con la temperatura usada y el tamaño del lingote, pero es común que sea de 24 horas a la temperatura elegida.

c) Fabricación de las partículas de la aleación.

Una vez realizada la homogeneización térmica apropiada del lingote de aleación, se lleva a temperatura ambiente y se realiza el corte o "trituration" para convertirlo en limadura. Se coloca el lingote en un torno mecánico o una maquinafresadora y se los desgasta contra una hoja de corte o fresa. La velocidad de avance con que la parte cortante y el lingote entran en contacto determina el tamaño básico de las par-

tículas o granos de la aleación final que recibe el odontólogo. El lingote de aleación es más frágil y las partículas - suelen ser aciculares.

Una vez concluido el corte, las partículas de aleación son reducidas aún más de tamaño con el molido de bolas. La operación de molido con bolas rompe los fragmentos aciculares y - les da uniformidad de tamaño. A continuación, el "polvo" de aleación es tamizado para graduar el tamaño final de las partículas antes de envasarlo.

d) Selección del tamaño de partículas.

Hay que tener en cuenta el tamaño de las partículas de una aleación. Una diferencia de 1/1000 de pulgada por revolución en la velocidad del corte puede afectar a la superficie específica de las partículas de una aleación hasta 25 por ciento. El tamaño real de la partícula, al igual que la distribución de los tamaños dentro de un polvo de aleación, deben ser conocidos y especificados por el fabricante.

La diferencia más significativa radica no tanto en el tamaño promedio de la partícula, sino en la distribución de tamaños alrededor del promedio. Una gran cantidad de partículas - sumamente pequeñas (de menos de 3 micrones) aumentan considerablemente la superficie específica de la aleación, la cual requiere así una mayor cantidad de mercurio para la amalgamación. Se toman las precauciones apropiadas para regular la - distribución del tamaño de las partículas, al igual que el - promedio del tamaño de las partículas, se pueden conseguir -

excelentes aleaciones con partículas de menor tamaño y así se produce un endurecimiento más rápido de la amalgama, con una resistencia mayor inicial, que si las partículas de la aleación fueran de gran tamaño. Otra objeción al uso de partículas de gran tamaño es que la mezcla final de mercurio y aleación es propensa a carecer de blandura, y ello dificultaría la adaptación de la amalgama a las paredes cavitarias durante la condensación.

El polvo de aleación pueden ser comprimidas en tabletas para dispersarlas y medirlas con mayor facilidad.

e) Envejecimiento.

Una vez reducido el lingote a limaduras, muchos fabricantes hacen cierto tipo de tratamiento de la superficie de las partículas. Aunque los detalles específicos del tratamiento de las partículas se consideran como patentados, generalmente se acepta que el tratamiento de las partículas de aleación con ácido ha sido la práctica de fabricación seguida muchos años. No se conoce del todo la función exacta de este tratamiento, pero probablemente tiene que ver con la disolución preferencial de componentes específicos de la aleación.

Las microtensiones inducidas en las partículas durante el corte y el molido con bolas deben ser liberadas. Si no lo hace el fabricante, se irán liberando lentamente durante cierto tiempo, produciendo un cambio en la aleación, particularmente en la velocidad de amalgamación y en los cambios dimen

sionales que se producirán durante el endurecimiento. Este proceso lleva el nombre de envejecimiento, y comprende un ciclo de ablandamiento a temperatura moderada. Por lo común el envejecimiento se realiza a 100°C durante algunas horas. La aleación convenientemente "envejecida" será estable en su capacidad de reacción y en sus propiedades mientras se halle almacenada un tiempo indefinido.

2.5 Método de obtención de la amalgama dental.

En este punto no se tratará con detalle debido a que este método de amalgamación lo dominan al máximo los odontólogos, sólo se hablará de la elección y relación del mercurio y la trituración para formar la amalgama dental.

Elección. Hay un solo requisito para el mercurio dental, y es que sea puro. Los elementos contaminantes comunes, como el arsénico, pueden originar lesiones pulpares. Además, la falta de pureza afecta adversamente a las propiedades físicas de la amalgama.

Proporción. La cantidad de aleación y mercurio que se debe utilizar es la relación aleación-mercurio o a veces su recíproca, la relación mercurio-aleación. Cualquiera de las dos denominaciones es correcta y expresa las partes por peso de aleación y mercurio que se utilizarán para la técnica particular que se realice. La relación según la norma de calidad es uno a uno.

Trituración. Existen varios amalgamadores mecánicos, en la parte superior de cada aparato hay una cápsula sostenida por brazos, que hacen las veces de mortero. Dentro de la cápsula y de menor diámetro que ella, hay un pequeño pistón cilíndrico de metal o plástico, que funciona como mano.

Con la mano se colocan en la cápsula las cantidades adecuada de aleación y mercurio, por vibración se lleva a cabo la trituración en un tiempo determinado y se tiene lista la amalgama dental.

C A P I T U L O T R E SP A R T EE X P E R I M E N T A L

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Determinación de la pureza de las materias primas.

A) Análisis de la pureza de la plata.

Método de Volhard.

Soluciones:

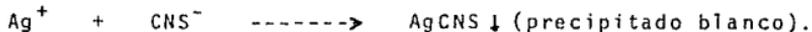
AgNO_3 N= 0.1026 Sol. al 5% de alumbre férrico.

KCNS N= 0.0820 (indicador).

HNO_3 conc.

Se prepararon soluciones y se estandarizaron quedando con la normalidad mencionada. Se pesaron tres muestras de plata y se disolvieron en ácido nítrico concentrado. Después se diluyó con agua y se prosiguió a valorar, cada una de las muestras con solución de tiocianato de potasio hasta el color rojo estable.

Reacción:



Cuando esta reacción es completa, la primera porción de tiocianato de potasio añadida da lugar a la aparición de un color rojo con disolución de alumbre férrico como indicador:



El indicador alumbre férrico se utiliza en concentración -

elevada (unos 5 ml. de disolución saturada por cada 100 ml. de disolución a valorar) para garantizar la formación inmediata de una cantidad detectable de complejo rojo al añadir el primer exceso de tiocianato después del punto estequiométrico de la reacción de precipitación. El punto estequiométrico.

$$[Ag^+] = [CNS^-] = K_{ps} = \sqrt{1.0 \times 10^{-12}} = 1.0 \times 10^{-6}$$

La cantidad de ion plata que queda sin precipitar es, por consiguiente despreciable.

B) Análisis de la pureza del cobre.

Método indirecto con tiosulfato sódico (óxido-reducción).

Soluciones:

$Na_2S_2O_3$	N = 0.08	KI cant. necesaria.
KIO_3 patrón primario		Almidón al 5% (Indicador).
(cant. necesaria).		H_2O
HCl conc.		
H_2SO_4 conc.		

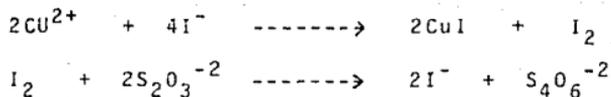
Se pesaron tres muestras de iodato de potasio entre 0.1 y 0.17 gramos. Cada muestra se disolvió en 100 ml. de agua y se agregaron 1 ml. de ácido clorhídrico concentrado. A cada muestra se agregó 2 g de ioduro de potasio. Se prosiguió a titular con solución de tiosulfato hasta la coloración amarilla.

llo pálido, se agregaron unas gotas de solución de almidón y se siguió titulando hasta que el color azul intenso de yoduro de almidón desapareció. Teniendo ya el volumen de tiosulfato gastado se prosigue a calcular la normalidad del tiosulfato.

Para determinar el contenido de cobre se pesó una muestra aproximadamente de un gramo y se disolvió en 5 ml. de ácido sulfúrico concentrado. Se llevó a ebullición hasta desprendimiento de humos blancos, se enfrió la solución y se aforó a 50 ml. con agua.

Se tomaron tres alícuotas de 10 ml. cada una. A cada muestra se agregaron de 0.5 a 1 gramo de yoduro de potasio y se prosiguió a titular con solución de tiosulfato previamente estandarizado, hasta que disminuyó la intensidad de color amarillo. En este momento se agregaron unas gotas de almidón y se continuó titulando hasta la desaparición permanente del color azul.

Reacción:



Con respecto al estaño y cinc se consiguieron como metales electrofíticamente puros y por tal motivo no se determinó la pureza.

3.2. Obtención de la aleación dental.

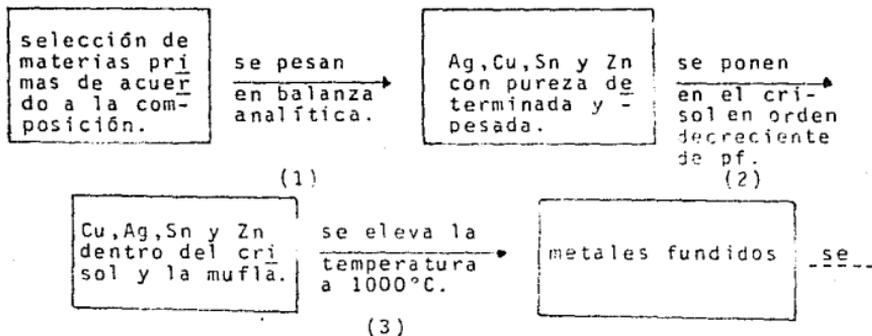
La fabricación de la aleación dental implica varias operaciones desde las más importantes como la composición de los metales aleantes y la fusión de ellos, y otras menores, pero necesarias, como la obtención del tamaño de partícula, selección de ella misma, el envejecimiento y el empaquetado de la partícula de la aleación dental.

Dependiendo de la composición se selecciona la materia prima, y en base a esto adquiere propiedades diferentes. El método utilizado en general es aquel que se describió en el punto 2.4.

La temperatura utilizada para la fusión de los metales es de 1000 a 1020°C.

Para explicar este método se presenta un esquema que ilustra el proceso para la obtención de la aleación dental:

Parte A del proceso (formación del lingote).



continúa.

agita vigo-
rosamente. →

(4)

aleación prac-
ticamente ho-
mogénea.

se vacía en
una lingote-
ra. →

(5)

aleación
en forma
de lingote.

Parte B del proceso (formación del polvo).

aleación en
forma de lin-
gote.

a) se pasa al horno
→
b) se eleva la tem-
peratura a 400-450°C.

(6)

aleación
homogénea.

a) se en-
fría. →
b) se pá-
sa por un
Torno Me-
cánico.

(7)

aleación en
forma de li-
madura.

se pasa por un
→
molino de bolas.

aleación en
forma de -
polvo.

a) se pasa a
un horno. →
b) se eleva
la temperatu-
ra a 100°C
(4 hrs.).

(8)

(9)

aleación en
vejecida.

se pasa por
→
250 malla.

aleación en polvo
lista para la
amalgamación.

(10)

Parte C del proceso (formación de la amalgama dental).

aleación en polvo
para amalgama den-
tal.

a) se pesa el polvo.
b) se pesa el mercurio.
c) se pasan a un amalga-
mador.
d) se agita durante 30s.

amalgama
dental.

(11)

Nota: El experimento C se realizó en el laboratorio de materiales dentales de la facultad de Odontología. Sólo se pesó el polvo y la amalgamación se realizó en una forma automática.

Se realizaron seis experimentos variando la composición de los elementos de la aleación dental y cada uno de ellos se hizo por triplicado para corroborar la reproductibilidad de los datos en base a la homogeneidad de los elementos dentro de la aleación y al rendimiento mismo.

Todos estos experimentos se realizaron siguiendo el método mencionado, el cual paso a paso se detalla a continuación:

Parte A del proceso (formación del lingote).

(1) Los elementos que se van alear se tienen que pesar en balanza analítica para poder sacar un balance de materia real.

(2) Se colocan en el crisol las materias primas en orden decreciente al punto de fusión, para así evitar que se volatilicen los elementos de bajo punto de fusión. El crisol preferentemente debe ser de grafito para evitar contaminación del producto.

(3) La temperatura de fusión de la mezcla es de 1000 a 1020°C, se puede elevar un poco más la temperatura, pero procurando no dañar la mufla. En este momento se tiene ya la mezcla fundida.

(4) Al tener los metales fundidos se agitan vigorosamente para evitar una segregación en la mezcla y obtener lo más homogénea ésta.

El agitador utilizado es de acero inoxidable.

(5) Al tener la mezcla fundida previamente homogénea a la temperatura mencionada se vacía en un molde o lingotera de acero inoxidable y dejar enfriar. Por lo regular este lingote debe ser cilíndrico para poderlo maquilar fácilmente.

Parte B del proceso.

(6) El lingote frío, se pasa al horno a mufla, subiendo la temperatura de 400 a 450°C para realizar el proceso de ablandamiento y homogeneización descrito anteriormente. El tiempo es de 2 horas.

(7) Después de las dos horas de ablandamiento, se enfría el lingote y se pasa por un torno mecánico para desvastarlo en forma de limadura la más fina que se pueda.

(8) La limadura para romperla aún más se pasa por un molino de bolas. Este paso no se realizó porque no es costeable.

(9) La limadura se pasa en un crisol de porcelana y, nuevamente se pasa a una estufa o directamente al horno, a una temperatura máxima de cien grados. Esto se realiza para eliminar las tensiones de las partículas cuando fueron cortadas. El tiempo de duración es de cuatro horas.

(10) El último paso es tamizar las limaduras finas, pasándose por una malla mínima de 250 y máxima de 325, que es lo-

que, la norma de calidad permite. De esta forma se tiene la partícula totalmente seleccionada en relación al tamaño. Quedando lista para amalgamarse. (24)

3.3. Experimentos realizados.

Con el objeto de encontrar las condiciones óptimas para la elaboración de la aleación dental, se realizarón seis experimentos, donde fueron variados los siguientes parámetros:

- a) Composición
- b) Tiempo de fusión (t_f)
- c) Temperatura de fusión (T_f)
- d) Tiempo de homogeneización (t_h)
- e) Temperatura de homogeneización (T_h)
- f) Tiempo de envejecimiento (t_e)
- g) Temperatura de envejecimiento (T_e)

Las variables se fijan de acuerdo a las condiciones experimentadas que van con relación a la norma de calidad y apegadas a la literatura.

Más adelante se dará una tabla en el cual ya las variables son fijas pues se optimizaron en los experimentos realizados. Quedando como variable independiente la composición.

3.4. Análisis de la aleación dental.

La aleación se analizó por medio del microscopio electrónico de barrido. Se montaron las muestras y se analizaron por-

triplicado cada una de ella. Así como las impurezas del cual pudieron haberse contaminado por la fusión de los metales.

Esta prueba demostro que la aleación no esta contaminada y que el proceso para la obtención de la misma es satisfactorio pués en la mera fusión no hay reacción con contaminantes. Además se agrego un exceso de los componentes para complementar el 100 por ciento de cada muestra, debido a que no son 100 por ciento puros y al final el producto aparece como lo planeado en el análisis.

Corrosión.- Las muestras obtenidas en cada experimento se le hicieron pruebas de corrosión pero no fueron medidas con ningún aparato, solo se realizaron de una forma que los resultados fueron observados por el microscópio óptico y a simple vista.

Se preparo una solución de ácido clorhídrico al uno por ciento, y la muestra se introdujeron en la solución, al cabo de tres meses se observaron y se encontró que unas muestras no tuvieron variación alguna mientras que otras si tuvieron cambios notables.

Otra solución fue ácido fosfórico al uno por ciento, y se siguió la misma técnica y fue el mismo tiempo como parámetro.

Las muestras que no tuvieron variación se seleccionaron y son las que aparecen en los resultados.

A continuación se describe una tabla en el cual se seleccionaron las variables óptimas para la elaboración de la aleación dental en el proceso A y B de la técnica:

V A R I A B L E S

Experi- mentos.	Composición (%)	(tf) seg.	(Tf) °C	(th) hr.	(Th) °C	(te) hr.	(Te) °C
1	Ag 60-Sn 30 Cu 9.9- Zn 0.1	10	1020	1	400	1	100
2	Ag 74- Sn 22 Cu 4.4- Zn 0.1	8	1000	1	400	1	100
3	Ag 72.5-Sn 18 Cu 10. Zn 0.1	10	1030	1	400	1	100
4	Ag 70.1-Sn 18 Cu 12-Zn 0.1	10	1050	1	400	1	100
5	Ag 68.2-Sn 24 Cu 8- Zn 0.1	10	1030	1	400	1	100
6	Ag 67-Sn 18 Cu 15- Zn 0.1	20	1050	1	400	1	100

Al analizar la tabla de variables se observa que a mayor cantidad de cobre en la muestra el tiempo de fusión es mayor y la temperatura de fusión también aumenta. Las variables se optimizaron quedando ya fijas y como se dijo anteriormente, la única variable independiente es la composición. Si se realiza una gráfica de variables con respecto a composición, se podría ver que cualquier aleación se le determinaría los parámetros para la obtención, pero se tendrían que analizar otros factores como el horno, manipulación, escala para medir temperatura, etc.

C A P I T U L O C U A T R OR E S U L T A D O SYD I S C U S I O N

4. RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1. Resultados de la pureza de las materias primas.

A) Pureza de la plata.

Tabla 4.1.

No. de muestra.	Peso de la muestra(g).	Volumen de tiocianato.	Contenido de Ag (g).	% de Ag
1	0.1924	13.8 ml.	0.19237	99.98
2	0.1635	11.7 ml.	0.16319	99.81
3	0.1725	12.4 ml.	0.17285	100.20

Resultado:

Porcentaje promedio de plata metálica es:

$$\% \text{ Ag} = 99.996$$

Discusión:

La plata utilizada es de buena calidad, debido a que este método es confiable, además las muestras se trabajaron por triplicado para así cotejar los resultados en cada experimento y tener un punto de partida en el peso inicial de la muestra que se va alear.

B) Pureza del cobre.

Tabla 4.2.

No. de muestra.	Volumen de la muestra.	Volumen de tiocianato.	Normalidad del tiocianato.		
1	10 ml.	33.1 ml.	0.08 N		peso de la mues
2	10 ml.	33.2 ml.	0.08 N		tra
3	10 ml.	33.1 ml.	0.08 N	M = 0.8520g.	

Resultados:

Porcentaje promedio del cobre metálico es:

$$\% \text{ Cu} = 98.767$$

Discusión:

El método tiene un buen resultado debido a que la reacción es cuantitativa y se puede detectar fácilmente el punto de equivalencia. Con respecto a la pureza del cobre se puede decir que es aceptable ya que las impurezas no son dañinas y este valor hace que no varíe mucho el resultado de la aleación final. (4) (24)

4.2. Resultados en la obtención de la aleación dental.

No. de muestra.	Composición (%)	Dureza (HR B)	Análisis en el microscópio electrónico de B.	Corrosión (HCl y H ₃ PO ₄)
1	Ag 60- Sn 30- Cu 9.9 y Zn 0.1	72	Ag 60.0 Sn 29- Cu 9.9 y Zn 0.1	se pone un poco oscura.
2	Ag 74- Sn 22- Cu 4.4- Zn 0.1	100	Ag 74- Sn 21.6 Cu 4.3- Zn 0.01	No pasa nada.
3	Ag 72.5- Sn 18- Cu 10- Zn 0.1	90	Ag 72.5- Sn 17.7 Cu 9.7- Zn 0.01	No pasa nada.
4	Ag 70.1- Sn 18- Cu 12- Zn 0.1	98	Ag 70.1- Sn 17.8 Cu 12- Zn 0.01	No pasa nada.
5	Ag 68.2- Sn 24- Cu 8- Zn 0.1	102	Ag 68.2- Sn 23.2 Cu 8.5- Zn 0.01	No pasa nada.
6	Ag 67- Sn 18- Cu 15- Zn 0.1	101	Ag 67- Sn 17.9 Cu 15- Zn 0.01	No pasa nada.

Discusión:

En el comercio, las aleaciones se dicen que están exentas de cinc, pero se analizaron algunas muestras comerciales y si contenían este elemento, por tal motivo en las aleaciones que se muestran arriba siempre van acompañadas de cinc.

Con respecto a los resultados, se que no hay variación muy notable entre el porcentaje de elementos que componen a la aleación y el resultado del microscópio electrónico de barrido. El análisis como ya se explicó se hizo por triplicado y se sacó el promedio de los valores obtenidos, por esta razón coincidieron la mayoría.

La corrosión solo se analizó por observación, como se menciona anteriormente, se pulieron las muestras a obtener un brillo y una superficie lisa y se introdujeron a una solución de HCl y ácidos fosfórico. El resultado es lo que aparece en la tabla descrita.

La dureza es una propiedad física en el cual pasa la norma de calidad de la aleación dental y depende de:

4.3. Resultado en la obtención de la amalgama dental.

No. de muestra.	No. de malla que paso el polvo de A.	Tiempo de formación de la amalgama (s).	Resistencia a la compresión a la hora (psi).	Corrosión sol. de HCl y H_3PO_4 al 1%.
1	300	20 s.	34820	No pasa nada
2	300	20 s.	18890	No pasa nada
3	300	20 s.	28800	No pasa nada
4	300	20 s.	34840	No pasa nada
5	300	20 s.	25860	No pasa nada
6	400	20 s.	31850	No pasa nada

En esta tabla se observa que las seis muestras pasan la norma de calidad con respecto a número de malla utilizada, a la formación de la amalgama y a la resistencia a la compresión a la hora.

Discusión:

Estos resultados muestran que la aleación obtenida en el laboratorio puede amalgamarse pasando las normas de calidad-

en las pruebas hechas para cada muestra.

Con respecto a la corrosión, nuevamente las amalgamas se - pulieron a espejo y se introdujeron a una solución de HCl y H_3PO_4 para observar si al cabo de un tiempo (tres meses en - este caso) sufriera cambios notables en la superficie. Des- - pués del tiempo mencionado se observó que la superficie de - la amalgama no le sucedió absolutamente nada. Esta prueba se analizó, en el microscopio óptico. A continuación se presen- - ta una tabla de aleaciones para amalgama que se encuentran - en el mercado y sólo se mencionarán algunas propiedades para hacer una comparación de los resultados obtenidos en el labo- - ratorio. (6)

Aleación (marca)	Escurrimiento	Resistencia a la hora (psi)	Comprensión a: semana (psi)
Tytin	0.07	34900	77500
Idiloy	0.06	31600	62600
Dispersalloy	0.25	32800	64500
Phasealloy	0.37	12900	65700
Cupralloy	0.22	18200	63900
Subraloy	0.02	46500	67000
Aristaloy CR	0.28	33000	73800
Optaloy II	1.77	28800	63500
Velvalloy	1.00	18000	55000
Micro II	1.40	25000	63300

Esta tabla sirve para comparar los resultados y se observa que los experimentos realizados en el laboratorio caen den--

tro de los resultados de las aleaciones del comercio. Aunque falta reforzar más la técnica para poder obtener mejores resultados. (4) (24)

Estas aleaciones para amalgama dental que fueron mencionadas tienen un costo en el mercado, que varía en la presentación, en el tamaño de partícula, en cápsulas (en una parte de la cápsula esta el polvo de aleación y en la otra parte de la cápsula esta el mercurio previamente dosificado para la obtención de la amalgama), etc.

A continuación se mencionan algunos precios de aleaciones existentes en el mercado:

GICMO, S.A. DE C.V. (23) (25)

Lista de precios vigente del 20 de Junio al 20 de Septiembre de 1988.

N A R C A	PRECIO
1 Onza Dispersalloy de Johnson & Johnson	\$ 120 000
1 Onza de amalgama Etal Aristalloy 21	\$ 43 000
1 Onza Etal Aristalloy polvo o tabletas	\$ 37 000
1 Onza Etal Veralloy, polvo o tabletas	\$ 38 000
1 Onza Etalloy CR, polvo o tabletas	\$ 66 350
1 Onza Katalloy, polvo o tabletas	\$ 37 300
1 Onza Luxalloy fase dispersa, polvo o tabletas.	\$ 66 350

Estos son algunos precios estables por lo menos tres meses, debido a que las aleaciones suben día a día con respecto a los metales de que están compuestos y la base de estos es la plata.

Costo de las materias primas:

1 gramo de plata	\$ 550
1 gramo de cobre	\$ 1
1 gramo de estaño	\$ 25

1 Onza de aleación en el laboratorio en polvo es de 12 000 pesos. Sin contar los gastos de operación.

Discusión:

Los resultados obtenidos en el laboratorio quedan establecidos por los parámetros específicos en el desarrollo del proceso para la obtención de la aleación dental. Las temperaturas establecidas en las tablas descritas figuran como las óptimas en el proceso, y estas son promedios pues al principio de la parte experimental se da un rango en cada experimento.

Con respecto a los tiempos de fusión, se consideran como ideales en el proceso, debido a que si se deja más tiempo, la aleación empieza a evaporarse sufriendo pérdidas en el producto final.

La elaboración de la amalgama dental se debe realizar se--

gún las técnicas de un Odontólogo para obtener un producto - de calidad y de características deseadas; pero esto se logra si se parte de una buena aleación.

Para obtener una aleación dental de buena calidad es necesario utilizar materias primas puras, para evitar contaminación dentro del producto y se pueda utilizar sin riesgo para el usuario.

La composición de la aleación y las pruebas hechas a la - amalgama caen dentro de la norma de calidad de la Asociación Dental Americana en la especificación No. 1 de aleaciones para amalgama dental. (4)

C O N C L U S I O N E S

Conclusiones.

- A) Es posible obtener aleación dental en el laboratorio.

- B) En el presente trabajo se abre una alternativa para la obtención de la aleación dental con materias primas nacionales y con un laboratorio sencillo.

- C) Se desarrolló un proceso para la obtención de la aleación dental de buena calidad y de bajo costo.

- D) Existen otras aleaciones tales como; oro-cobre, cromo-cobalto y paladio-plata que pueden obtenerse en el laboratorio.

México D.F., 28 de octubre de 1988

A QUIEN CORRESPONDA:

Por la presente me permito informar que la aleación de plata-estaño-cobre, preparada por el sr. DOMINGO CASAS MENDOZA en el laboratorio de Química Inorgánica, como trabajo de tesis para obtener el Título de Químico.

Fue probada en la elaboración de tres restauraciones de uso dental, incrustación endoposte y corona.

Obteniéndose resultados satisfactorios, cumpliendo las normas de la Asociación Dental Mexicana.



ATTE. Dr. JOAQUIN CHAVIRA

B I B L I O G R A F I A

Bibliografía.

- (1) American Society for Metals (Metals Handbook). 2 (1979).
- (2) American Society for Metals (Metals Handbook). 7 (1973).
- (3) Andrews, A.D. y Kokes, J.R. Química Fundamental. Ed. Limusa, México (1982).
- (4) ASTM E11-70 for Dental Materials and Devices.
- (5) Ayres, G.H. Análisis Químico Cuantitativo. Harper & Row N.Y. (1970).
- (6) British Dental Journal. 142, pag. 181-187 (1977).
- (7) C.A. 72: 136516s (1970).
- (8) C.A. 72: 38204u (1970).
- (9) C.A. 72: 46705y (1970).
- (10) C.A. 73: 122997s (1970).
- (11) C.A. 74: 129484t (1971).
- (12) C.A. 96: 73315y (1982).
- (13) C.A. 97: 167404z (1982).
- (14) C.A. 98: 184056a (1983).
- (15) C.A. 98: 154460k (1983).
- (16) C.A. 98: 148393z (1983).
- (17) C.A. 102: 15349m (1985).
- (18) Cotton, F.A. y Wilkinson, G. Química Inorgánica Avanzada. Ed. Limusa, México (1981).
- (19) Esteels, B.D. Química de los Elementos Metálicos. Ed. Alhambra (1982).

- (20) Gessner, G.H. Diccionario de Química y Productos Químicos. Ediciones Omega S.A. (1982).
- (21) Fernelius, W.C. Inorganic Synthese 2. Ed. Mc Graw-Hill book company (1946).
- (22) Guy, G.A. Metalurgia Física para Ingenieros. Ed. FEI. S.A. (1970).
- (23) JADA 91, 618-621 (1975).
- (24) JADA. Corrections in "Revised American Dental Association", 95 (1977).
- (25) Journal of Dentistry for Children. Phillips, W.P. march-april 106-112, (1973).
- (26) Seybolt, A.V. Técnicas de Metalurgia Experimental. Ed. Limusa (1969).
- (27) Skinner & Phillips. La Ciencia de los Materiales Dentales. Ed. NEI S.A. de C.V. (1983).
- (28) Sydney, H.A. Introducción a la Metalurgia Física. Ed. Mc. Graw-Hill, México (1979).
- (29) Vogel, I.A. Química Analítica Cuantitativa. I y II, Ed. Kapelus (1979).
- (30) Watty, B.M. Química Analítica. Ed. Alhambra (1982).