

UNIVERSIDAD DE BARCELONA

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DEPARTAMENTO “UNIDAD DEPARTEMENTAL DE  
ODONTOESTOMATOLOGÍA”

Programa “Técnicas clínicas en Odontología”  
Bienio 1995-1997

“EFECTO DE LAS VARIACIONES TÉRMICAS DURANTE LA FUSIÓN DE LOS  
COLADOS EN PRÓTESIS FIJA”

Trabajo para optar al título de doctor en Odontología.

Presentado por Josep Bizar i Ramoneda.

Dirigida por los doctores Maria Peraire Ardèvol y Josep Maria Anglada Cantarell.

Tutor del programa de doctorado: Dr. Juan Ramón Boj Quesada.

La elaboración de esta tesis doctoral no habría sido posible sin la ayuda de numerosas personas. Es por ello que quiero agradecerles a todos su colaboración desinteresada:

En primer lugar a mis directores de tesis, la Dra. Maria Peraire Ardèvol y el Dr. Josep Maria Anglada Cantarell, sin la tutoría de los cuales esta tesis no habría sido ni un futuro proyecto.

De la misma forma mi más sincero agradecimiento al Dr. Xavier Gil Mur, quien, con sus conocimientos en el campo de la metalurgia ha hecho posible la consecución de todos los experimentos que hemos realizado y su interpretación.

Al Dr. Joan Salsench Cabré por su empeño en que esta tesis fuera un proyecto realizable y por la obtención de los medios que nos han sido necesarios para su elaboración.

Al Sr. Frederic Martorell por su colaboración desinteresada en el trabajo y por haber realizado el colado de las muestras a estudiar.

A la Fundació Josep Finestres, y especialmente a su gerente el Dr. Pere Clavero, por su interés en el desarrollo del proyecto.

A los Sres. Marqués y Quesada (Falor-Metalor) y al Sr. Pacés (Madespa Ventura) por el suministro de las aleaciones empleadas en este estudio así como todos los datos necesarios para el conocimiento de sus propiedades y uso.

A todos mis compañeros de la Facultad de Odontología de la Universidad de Barcelona por sus consejos y ánimos, especialmente al Dr. Jordi Martínez Gomis, quien con su previa experiencia en la realización de una tesis doctoral me ha aconsejado en múltiples ocasiones y gracias al cual la interpretación estadística ha sido una tarea

agradable. También a los Dres. Jordi Samsó Manzanedo y Santiago Pasquín C. de Sobregrau quienes me han dado todo tipo de facilidades a la hora de coordinar la elaboración de este trabajo con mis obligaciones docentes.

Quiero, también, hacer mención de Sandra Vicent Sant, por su ayuda en aspectos relacionados a la edición del trabajo.

## ÍNDICE:

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN A LOS METALES Y ALEACIONES USADOS EN ODONTOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
<b><u>2.1. Introducción .....</u></b>	<b>9</b>
<b><u>2.2. Características deseables para las aleaciones de uso dental.....</u></b>	<b>9</b>
<b><u>2.3. Concepto de metal.....</u></b>	<b>10</b>
<b><u>2.4. Concepto de aleación.....</u></b>	<b>11</b>
<b><u>2.5. Materiales colados.....</u></b>	<b>12</b>
2.5.1. Estructura cristalina.....	13
2.5.2. Crecimiento de grano.....	17
2.5.3. Sistema de aleación.....	19
2.5.4. Curvas de enfriamiento.....	21
2.5.5. Diagramas de fase.....	22
<b>3. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS ALEACIONES USADAS EN ODONTOLOGIA: LA CORROSIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b><u>3.1. Introducción.....</u></b>	<b>27</b>
<b><u>3.2. El medio oral v la corrosión.....</u></b>	<b>28</b>
<b><u>3.3. Aleaciones y corrosión.....</u></b>	<b>29</b>
<b><u>3.4. La celda electrolítica.....</u></b>	<b>29</b>
<b><u>3.5. La celda galvánica.....</u></b>	<b>31</b>
<b><u>3.6. Clasificación de los metales v aleaciones según su resistencia a la corrosión.....</u></b>	<b>33</b>
3.6.1. Introducción.....	33
3.6.2. Tendencia a la corrosión. El potencial de electrodo.....	33
3.6.3. La polarización.....	36
3.6.4. La pasividad.....	37
3.6.4.1. Introducción.....	37
3.6.4.2. Mediciones potencioestáticas.....	38
<b><u>3.7. Composición y corrosión de los diferentes tipos de aleaciones.....</u></b>	<b>39</b>
3.7.1. Corrosión de las aleaciones nobles.....	39
3.7.2. Corrosión de las aleaciones no nobles.....	40
<b><u>3.8. Toxicidad, ingestión y biocompatibilidad de los metales.....</u></b>	<b>41</b>
<b>4. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ALEACIONES USADAS EN ODONTOLOGIA.....</b>	<b>45</b>
<b><u>4.1. Desgaste.....</u></b>	<b>47</b>
4.1.1. Introducción.....	47
4.1.2. Area de contacto real y aparente.....	48
4.1.3. Tipos de desgaste.....	48

4.1.3.1. Desgaste adhesivo.....	48
4.1.3.2. Desgaste abrasivo.....	49
4.1.3.3. Desgaste de fatiga.....	49
4.1.3.4. Desgaste de impacto.....	51
4.1.3.5. Desgaste químico o corrosivo.....	51
<b><u>4.2. Dureza.....</u></b>	<b>52</b>
<b><u>4.3. Elasticidad.....</u></b>	<b>54</b>
<b><u>4.4. Ductilidad y maleabilidad (el trabajo en frío).....</u></b>	<b>56</b>
<b>5. ALEACIONES DE USO DENTAL.....</b>	<b>59</b>
<b><u>5.1. Tipos de metales.....</u></b>	<b>61</b>
5.1.1. Metales nobles.....	61
5.1.2. Metales no-nobles.....	61
5.1.3. Metales seminobles.....	61
5.1.4. Metales preciosos.....	62
<b><u>5.2. Tipos de aleaciones.....</u></b>	<b>62</b>
5.2.1. Aleaciones de metales nobles.....	62
5.2.1.1. Aleaciones de oro.....	62
5.2.1.2. Aleaciones de oro-platino-paladio.....	65
5.2.1.3. Aleaciones de oro-paladio-plata.....	65
5.2.1.4. Aleaciones de oro-paladio.....	66
5.2.1.5. Aleaciones de paladio-plata.....	66
5.2.1.6. Aleaciones de alto contenido en Paladio.....	66
5.2.2. Aleaciones de metal no-noble.....	66
5.2.2.1. Aleaciones de cromo-níquel.....	67
5.2.2.2. Aleaciones de cromo-cobalto.....	68
<b>6. INTRODUCCIÓN AL COLADO.....</b>	<b>69</b>
<b><u>6.1. Introducción.....</u></b>	<b>71</b>
<b><u>6.2. Materiales y métodos.....</u></b>	<b>71</b>
6.2.1. Bebederos.....	71
6.2.1.1. Definición.....	71
6.2.1.2. Colocación.....	72
6.2.2. Cilindro de colado.....	73
6.2.3. Revestimientos.....	73
6.2.3.1. Requisitos de los revestimientos.....	73
6.2.3.2. Materiales de revestimiento.....	74
6.2.3.2.1. Materiales con aglutinantes de yeso.....	75
6.2.3.2.2. Materiales con aglutinantes de sílice.....	77
6.2.3.2.3. Materiales con aglutinantes de fosfato.....	78
6.2.3.3. Propiedades de los materiales de revestimiento.....	79
6.2.3.3.1. Estabilidad térmica.....	79
6.2.3.3.2. Porosidad.....	81
6.2.3.3.3. Expansión de compensación.....	81
6.2.4. Combustión de la cera.....	83
6.2.5. Crisoles.....	83
6.2.6. Fundido de la aleación y colado.....	84
6.2.7. Terminado del colado.....	86

<b><u>6.3. Microestructura del colado</u></b> .....	87
6.3.1. Proceso de solidificación.....	87
6.3.1.1. Zona de enfriamiento rápido.....	87
6.3.1.2. Zona columnar.....	88
6.3.1.3. Zona central o equiaxial.....	89
6.3.2. Efectos del rechupe.....	90
<b>7. ALTERACIONES EN EL COLADO</b> .....	91
<b><u>7.1. Introducción</u></b> .....	93
<b><u>7.2. Efecto de la propia aleación</u></b> .....	93
<b><u>7.3. Efecto de la colocación de los bebederos</u></b> .....	93
<b><u>7.4. Efecto de las características del revestimiento</u></b> .....	95
<b><u>7.5. Efecto del calentamiento del cilindro</u></b> .....	96
<b><u>7.6. Efecto de la temperatura de colado</u></b> .....	97
<b><u>7.7. Efecto de la máquina de colar</u></b> .....	99
<b>8. OBJETIVOS</b> .....	101
<b>9. MATERIAL Y MÉTODO: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS</b> .....	105
<b>10. EXPERIMENTO 1: MICROESTRUCTURA</b> .....	111
<b><u>10.1 Material y método</u></b> .....	113
<b><u>10.2 Resultados</u></b> .....	114
<b><u>10.3 Discusión</u></b> .....	124
<b>11. EXPERIMENTO 2: CRECIMIENTO DE GRANO</b> .....	125
<b><u>11.1. Introducción</u></b> .....	127
<b><u>11.2. Material y método</u></b> .....	128
<b><u>11.3. Resultados</u></b> .....	129
11.3.1. Crecimiento de grano y temperatura de colado.....	129
11.3.2. Crecimiento de grano y tratamiento térmico.....	130
11.3.2.1. Área y diámetro.....	130
11.3.2.2. Exponente de orden de crecimiento.....	135
11.3.2.3. Energía de activación.....	136
11.3.2.4. Ratio del área del límite de grano.....	137
<b><u>11.4. Discusión</u></b> .....	138
<b>12. EXPERIMENTO 3: DUREZA</b> .....	141
<b><u>12.1. Material y método</u></b> .....	143
<b><u>12.2. Resultados</u></b> .....	145
<b><u>12.3. Discusión</u></b> .....	148
<b>13. EXPERIMENTO 4: DESGASTE</b> .....	151
<b><u>13.1. Introducción</u></b> .....	153
<b><u>13.2. Material y método</u></b> .....	153
<b><u>13.3. Resultados</u></b> .....	155
<b><u>13.4. Discusión</u></b> .....	165

<b>14. EXPERIMENTO 5: CORROSIÓN.....</b>	<b>167</b>
<u><b>14.1. Material y método.....</b></u>	<b>169</b>
<u><b>14.2. Resultados.....</b></u>	<b>171</b>
<u><b>14.3. Discusión.....</b></u>	<b>173</b>
<b>15. CONCLUSIONES.....</b>	<b>177</b>
<b>16. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>181</b>

## **1. INTRODUCCIÓN.**





### 1. INTRODUCCIÓN.

En el año 2600 a.C. hallamos el primer trabajo de prostodoncia fija. Nos encontramos en el antiguo Egipto, y se atribuye a Imhotep, conocido como el padre de la medicina egipcia, un trabajo consistente en dos molares ligados con alambre de oro. Aunque es probable que este trabajo fuera realizado post-mortem, se considera el primer trabajo protésico fijo.

Otras evidencias concretas acerca de la sustitución de dientes mediante la ligadura con alambre de oro y bandas se datan de los años 600 a 400 a.C. Así mismo se han hallado evidencias de que los sirios usaban ligadura con alambre de oro para el tratamiento periodontal. Estas técnicas fueron conocidas por los fenicios, grandes navegantes, los cuales las difundieron a etruscos, romanos e israelitas hasta la era cristiana. En la cultura Maya se realizan incrustaciones metálicas y de piedras preciosas en dientes anteriores.

No se hallan referencias de trabajos de esta índole hasta la Edad Media, donde en Francia a finales del 1300 se usaban piezas dentarias confeccionados con dientes de vacunos para la sustitución dental, y a finales del siglo XVII se empezó a usar el marfil.

Este tipo de Odontología fue progresando hasta que en el siglo XIX aparecieron los pioneros de la profesión, tal y como la conocemos hoy en día, Pierre Fauchard y Claude Mouton en Francia y John Greenwood en América.

Fue Mouton quien publicó el primer libro especializado en prótesis, en el que describe con todo lujo de detalles la confección de una corona de oro, aunque la primera corona de oro que se conoce fue vista en un molar de un niño en Italia en 1592.

## Introducción

Dicha corona, después de años de discusiones sobre si su origen se debía a la presencia de oro en el agua de consumo del niño, la obra del demonio o el castigo a los pecados de su madre, se descubrió que había sido realizada y colocada por un habilidoso herrero.

Estos son los inicios del uso de materiales para la sustitución de la forma o la función de sustancias dentales perdidas. Estábamos en los inicios de los biomateriales aplicados en la cavidad oral.

Existen diversas definiciones acerca de lo que son los biomateriales, una de ellas es la que los define como aquellos materiales naturales o fabricados por el hombre que se usan para sustituir en sus funciones a los tejidos vivos. Estos materiales son capaces de funcionar en contacto íntimo con los tejidos vivos adyacentes, con unas mínimas reacciones adversas o de rechazo.

En la actualidad, los materiales que usamos para la fabricación de nuestras prótesis fijas, son considerados como biomateriales, ya que debido al estudio exhaustivo de su composición por parte de los fabricantes, se han conseguido unas características físicas y químicas totalmente aceptables para su uso en el ser humano.

Los materiales para prótesis dental, una vez elaborados en las fábricas de origen, deben pasar unos procesos de modificación por parte de los técnicos dentales y los odontólogos para poder ser insertados en la boca de nuestros pacientes. En la secuencia de estas modificaciones no se deben alterar las propiedades de estos materiales ya que podrían convertirse en potencialmente nocivos.

Durante la elaboración de las prótesis fijas, estos materiales pueden sufrir modificaciones que podrían alterar sus propiedades tanto físicas como químicas. Los fabricantes de las aleaciones que usamos indican cuales son las temperaturas de colado a las que deben y pueden ser sometidos sus productos para que el resultado final tenga unas propiedades físicas y químicas adecuadas a su uso en odontología.

## **Introducción**

---

Estas temperaturas recomendadas no siempre son seguidas a la perfección por los laboratorios de prótesis dental, ya sea debido a falta de atención en el proceso o a la falta de máquinas de colar con control de temperatura.



## **2. INTRODUCCIÓN A LOS METALES Y A LAS ALEACIONES USADOS EN ODONTOLOGIA.**



## **2. INTRODUCCIÓN A LOS METALES Y A LAS ALEACIONES USADOS EN ODONTOLOGIA.**

### **2.1. Introducción:**

Los metales y aleaciones tienen múltiples usos en odontología. Los aceros son usados para construir instrumentos y alambres de ortodoncia. Las aleaciones de oro para prótesis fijas y removibles, el titanio para la fabricación de implantes, prótesis fijas y prótesis removibles, mientras que la amalgama dental (aleación que contiene mercurio) es un material de obturación usado desde hace mucho tiempo. Además otras muchas aleaciones como las de paladio, plata, cromo-níquel, níquel-titanio, son usadas en diferentes campos de la odontología.

### **2.2. Características deseables para las aleaciones de uso dental:**

Los materiales usados para reemplazar total o parcialmente los dientes naturales están sujetos a unas condiciones físicas adversas considerables, por lo que una aleación para uso dental debe ser duradera.

Dado que el entorno biológico al que están sometidos es agresivo, las aleaciones deben ser resistentes a la corrosión.



## Introducción a los metales y a las aleaciones usados en odontología

Estas aleaciones deben ser modificadas en el laboratorio dental para que podamos hacer uso de ellas, por lo que idealmente deberían ser fáciles de manipular. (Sulong Z.A. 1990)

Los metales y aleaciones usados en odontología deberían cumplir con las siguientes propiedades, según Z.A. Sulong, para que su uso fuera totalmente satisfactorio: (Sulong Z.A. 1990)

- Buena resistencia a la corrosión.
- Biocompatibilidad: : no deberían ser alergénicos ni contener constituyentes tóxicos que pudieran ser nocivos tanto en los procedimientos de manufacturación, como una vez colocados en boca.
- Buenas propiedades mecánicas;
  - resistencia a la deformación si debe estar sometida a fuertes tensiones mecánicas.
  - ductilidad si debe de bruñirse.
  - resistencia al desgaste.
- Buena colabilidad para obtener prótesis con los mínimos defectos posibles.
- Fácil manipulación.

### 2.3. Concepto de metal:

A excepción del mercurio, los metales suelen ser duros y brillantes a temperatura ambiente, y tienen estructura cristalina en la que los átomos están muy compactados. Son opacos y buenos conductores de la temperatura y la electricidad. El hidrógeno, metal muy reactivo es, por supuesto, un gas a temperatura ambiente. Si dicha temperatura fuera de 982 °C, muchos metales ordinarios serían líquido y otros gases.

Por lo general, los metales sólidos son más resistentes y densos que otros elementos químicos; también son más dúctiles y maleables que los no metales. (Phillips R.W. 1993)

## Introducción a los metales y a las aleaciones usados en odontología

De los 103 elementos agrupados hoy en día en la tabla periódica de los elementos, unos 80 pueden clasificarse como metales. Es de interés científico que tales elementos metálicos se agrupen por sí mismos en diversos tipos ( por ejemplo: ligeros, dúctiles, con punto de fusión alto, nobles). Esto muestra que las propiedades de los metales se relacionan de manera muy estrecha con la configuración de sus valencias electrónicas; en la figura 1 se registran tales agrupaciones. (Phillips R.W. 1993)

Metales ligeros		Metales pesados																		No metálicos					Gases inertes	
1 H		Alta fusión																		1 H	2 He					
3 Li	4 Be	Frágiles									Dúctiles									5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg	Frágiles																		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr									
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe									
55 Cs	56 Ba	* 57-71 Tierras raras		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn								
87 Fr	88 Ra	* 89-96 Radiac- tivos		Nobles																		Baja fusión				
* Tierras raras (serie de los lanfánidos)		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu										
* Elementos radiactivos (serie de los actínidos)		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 Nb	103 Lw										

Figura 1: Tabla periódica de los elementos. (Phillips R.W. 1993)

### 2.4. Concepto de aleación:

El empleo de metales elementales puros es muy limitado; la mayoría de los metales puros tienden a ser blandos, aunque existen excepciones como el titanio. Algunos, como el hierro, se corroen rápido. En consecuencia, con el fin de optimizar las propiedades, casi todos los metales usados en odontología, a menudo incluyen mezclas

de dos elementos metálicos o más, o en algunos casos de un metal y un no metal. Si bien es posible crear tales combinaciones de diferentes maneras, por lo general se elaboran mediante la fusión de los elementos. La mezcla sólida de dos metales, o más recibe el nombre de aleación. (Phillips R.W. 1993) Las mezclas de dos metales se denominan aleaciones binarias, las de tres metales aleaciones ternarias, y así sucesivamente. (McCabe J.F. 1990)

La palabra “metal” se emplea indistintamente para denominar “aleaciones” y “metales puros”. Si alguna vez se hablara de un concepto sólo aplicable a las aleaciones o a los metales puros, y no a los dos a la vez, debería aclararse.

## **2.5. Materiales colados.**

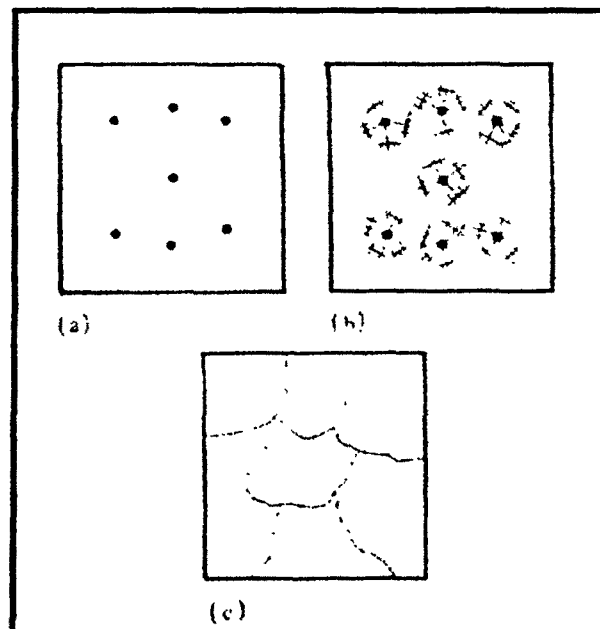
Existen cuatro métodos para dar forma a los metales o aleaciones y hacerlos útiles para nuestros propósitos: el colado, la soldadura, el trabajo en frío y la amalgamación.

El colado supone el calentamiento del material hasta que se funde, momento en el cual puede introducirse en un molde de revestimiento creado a partir de un molde en cera. El punto de fusión es la temperatura a la que los elementos se funden al sobrepasarla y solidifican al estar por debajo de ella. (O'Brien W.J. 1986)

La soldadura, es la unión entre dos metales por difusión, que puede ser en estado líquido o sólido. El trabajo en frío supone en contorneado mecánico del metal a bajas temperaturas aprovechando características propias del metal como la ductilidad y maleabilidad. Existe un tipo de aleaciones que mezcladas con mercurio forman una masa plástica que se endurece progresivamente; es el proceso de amalgamación, en el que el material toma la forma al compactarlo en una cavidad mientras aún está en estado plástico. (McCabe J.F. 1990)

**2.5.1. Estructura cristalina.**

Los metales suelen ser estructuras cristalinas en estado sólido. Cuando un metal o aleación fundidos se enfrían, el proceso de solidificación se realiza a través de una cristalización y se inicia en zonas específicas denominadas núcleos, los cuales corresponden al número de cristales o granos que se formarán. Los núcleos suelen estar formados por impurezas en la masa fundida del metal. Los granos crecen como dendritas, que pueden describirse como estructuras reticulares ramificadas tridimensionalmente que surgen de un núcleo central. Cuando dos granos adyacentes entran en contacto dejan de crecer y se forma el límite de grano. Este proceso se desarrolla hasta que todo el material se ha solidificado y todos los cristales dendríticos están en contacto. (Wilson H.J. 1987) (Figura 2)



➤ Figura 2: Diagrama que ilustra la cristalización de un metal: a) A partir de núcleos. b) Mediante crecimiento dendrítico. c) Formando granos. (McCabe J.F. 1990)

Después de la cristalización, los granos tienen aproximadamente las mismas dimensiones en cada dirección, medidas desde el núcleo central. No son perfectamente esféricos ni cúbicos, ni se conforman a ninguna otra formación geométrica. Se dice que

tienen una estructura en grano equiaxial. Un cambio desde una estructura equiaxial a otra en que los granos tienen una estructura más larga y fibrosa puede producir cambios importantes en las propiedades mecánicas. (McCabe J.F. 1990)

Los átomos de cada grano se disponen en forma de red tridimensional. Existen varias posibles disposiciones, como la cúbica, cúbica a cara centrada y cúbica a cuerpo centrado. (McCabe J.F. 1990) (Figura 3)

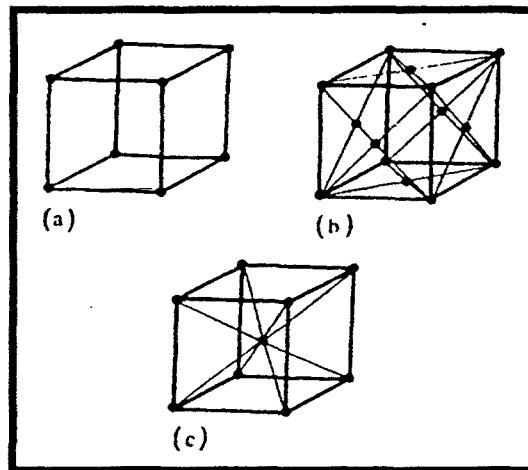


Figura 3: Algunas posibles disposiciones de los átomos en los metales y aleaciones. a) Estructura cúbica. b) Cúbica de centros en las caras. c) Cúbica de centro en el cuerpo. (McCabe J.F. 1990)

La disposición adoptada por cada cristal depende de factores específicos como el radio atómico y la distribución de carga de los átomos. Aunque existe cierta tendencia a la estructura cristalina perfecta, en ocasiones aparecen defectos, como se muestra, bidimensionalmente, en la siguiente figura. (McCabe J.F. 1990)

Tales defectos se suelen denominar dislocaciones y su presencia tiene efectos sobre la ductilidad del metal o aleación. Cuando el material se coloca bajo una tensión suficientemente alta, la dislocación puede moverse a través del retículo hasta que alcanza los límites de un grano como puede verse en la figura 4. El plano a lo largo del cual se mueve la dislocación se llama plano de deslizamiento y la tensión necesaria para

iniciar el movimiento es el límite elástico. (McCabe J.F. 1990) Este punto lo desarrollaremos más profundamente en el capítulo de las propiedades mecánicas.

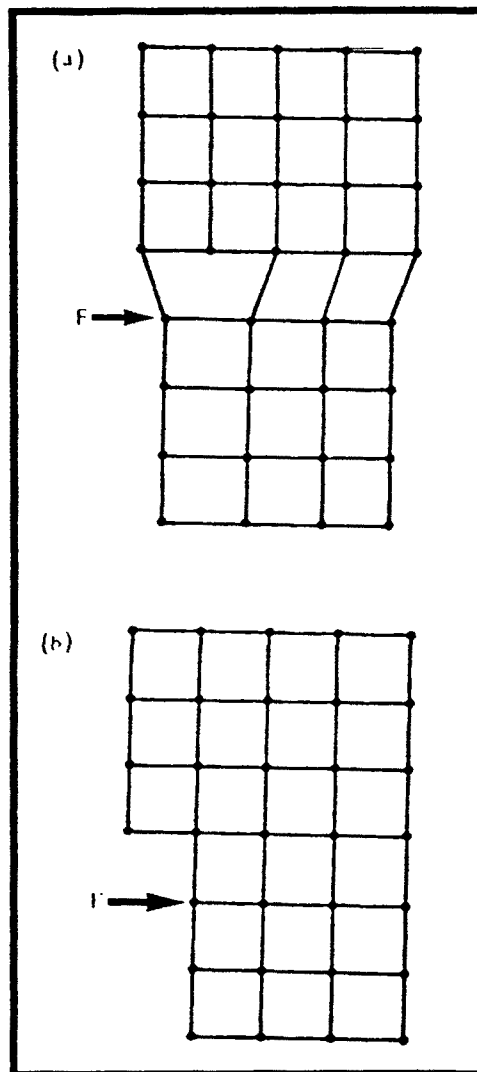


Figura 4: a) Diagrama simplificado que muestra las imperfecciones de una estructura cristalina. b) Bajo la influencia de una fuerza suficiente, los átomos pueden movilizarse y establecer una disposición más perfecta. (McCabe J.F. 1990)

En términos prácticos, la aplicación de una tensión mayor al límite elástico causa una deformación permanente del material como resultado del movimiento de las dislocaciones. Según las circunstancias esto puede ser un inconveniente o una ventaja. (Craig R.G. 1988)

Los límites del grano forman una barrera natural al movimiento de las dislocaciones. La concentración de límites de granos aumenta conforme se reduce el tamaño de grano. Los metales con una estructura de grano más fino suelen ser más duros y tienen valores mayores de límite elástico que los que tienen una estructura granular mayor. Por tanto, puede observarse que las propiedades del material son controlables hasta cierto punto si se controla el tamaño del grano. (McCabe J.F. 1990)

Es posible obtener una estructura granular fina mediante el enfriamiento rápido de un metal o aleación fundidos. Este proceso, a menudo denominado templado, asegura que se formen muchos núcleos de cristalización, dando lugar a un elevado número de granos relativamente pequeños. Un enfriamiento lento produce la formación de pocos núcleos que dan lugar a granos de tamaño mayor. (McCabe J.F. 1990) (Figura 5)

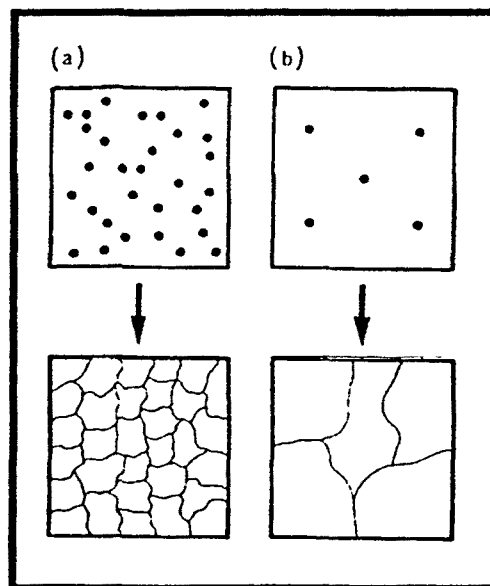


Figura 5: Control del tamaño de los granos metálicos mediante la velocidad de enfriamiento desde la fusión. a) Enfriamiento rápido; cuanto mayor es el número de granos, más pequeños son los granos. b) Enfriamiento lento; cuanto menor es el número de núcleos, mayores son los granos. (McCabe J.F. 1990)

Así mismo, si un material colado es trabajado en frío, se crean tensiones en su interior y los granos adoptan una estructura fibrilar. Existe un método para poder evitar estas tensiones, recuperar el estado normal de los granos e incluso modificar el tamaño de los mismos según interese. Es el proceso de crecimiento de grano o recocido.

**2.5.2. Crecimiento de grano (el recocido):**

Los metales o aleaciones que han sido trabajados en frío sufren un cambio de su estructura interna y de sus propiedades cuando se les calienta (se denomina el proceso de recocido). La estructura fibrilar típica de la masa trabajada en frío desaparece y se recupera la estructura granular. (Craig R.G. 1988)

El crecimiento de grano es un fenómeno importante y que está íntimamente relacionado con las propiedades mecánicas del material. El crecimiento de grano podría ser visto como el último estadio en el proceso de recocido. El proceso de recocido se puede dividir en tres estadios: recuperación, recristalización primaria y crecimiento de grano. (Ducheyne P. 1984, Prado J.M 1987, Ashby M.F. 1990, Callister R.W. 1996)

A temperaturas bajas y homogéneas se da la recuperación. La temperatura ideal para este proceso sería casi la mitad de la requerida para fundir el metal medida en grados Kelvin. Este proceso se da en una estructura anteriormente trabajada en frío. La recuperación es una transformación sin cambio de fase (es decir sin alterar el tamaño del grano) y puede eliminar los nudos o acumulaciones en las dislocaciones que se habrían formado en el proceso de trabajo en frío. (Philips R.W. 1993)

A mayores temperaturas se da la recristalización primaria. En este proceso la estructura inicial se substituye por unos nuevos granos libres de tensión. La recristalización se divide en dos fases; nucleación y proceso de crecimiento. Los núcleos de estos nuevos granos se formarán en las regiones donde se dobló más la red primaria en el trabajo en frío. La estructura recristalizada presenta un tamaño granular determinado según la cantidad de núcleos. A medida que el trabajo en frío es más intenso, mayor es el número de núcleos. Por tanto el tamaño de los granos puede variar desde bastante fino hasta muy grueso. Al concluir la recristalización el metal alcanza en esencia su estado original de ductilidad y dureza. (Philips R.W. 1993)

A temperaturas aún mayores ocurre el crecimiento de grano. En este estadio los granos recristalizados empiezan a crecer para reducir al mínimo la energía de los



límites. Los granos grandes “se comen” a los pequeños hasta que se obtiene una estructura granular gruesa y entonces cesa. (Philips R.W. 1993)

Aunque la recristalización primaria y el crecimiento de grano también involucran la migración de los límites de grano, las fuerzas conductoras no son las mismas. Las fuerzas conductoras para la recristalización primaria vienen de la liberación de las energías almacenadas durante el trabajo en frío y el proceso de recuperación, mientras que las fuerzas conductoras para el crecimiento de grano vienen de la reducción en la totalidad del sistema de la energía de límite de grano. (Ducheyne P. 1984, Prado J.M 1987, Ashby M.F. 1990, Callister R.W. 1996)

Dependiendo de la aplicación, el crecimiento de grano puede ser suprimido limitando el proceso de recocido o añadiendo solutos para obtener una estructura granular fina dando como resultado un material duro y fuerte. El crecimiento de grano también puede ser favorecido para conseguir granos grandes o incluso un único cristal si el material debe soportar tensión a altas temperaturas. (Ducheyne P. 1984, Prado J.M 1987, Ashby M.F. 1990, Callister R.W. 1996)

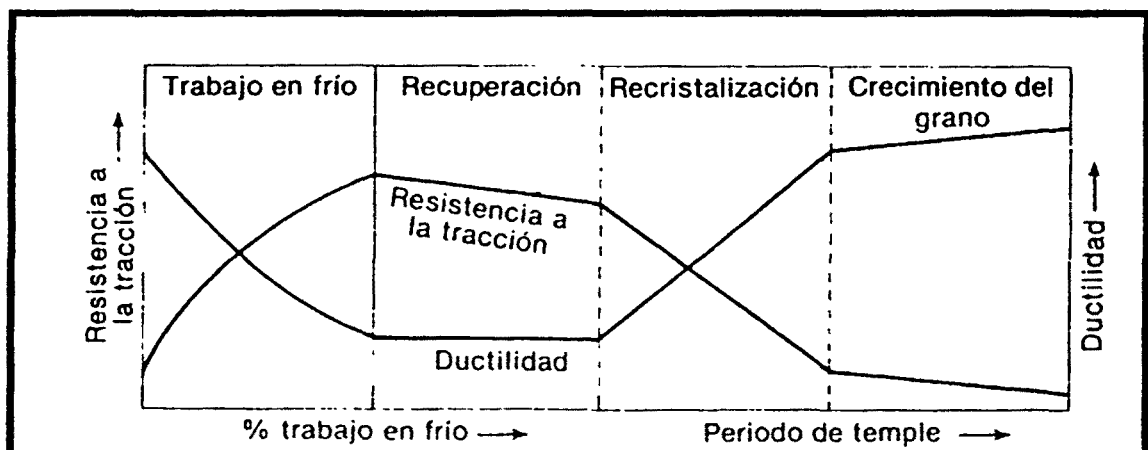


Figura 6: Resistencia a la tracción y cambios en la ductilidad en un metal sometido a los procesos de trabajo en frío, recuperación, recristalización y crecimiento de grano. (Philips R.W. 1993)

### 2.5.3. Sistema de aleación:

El término sistema de aleación se refiere a todas las posibles composiciones de una aleación. Por ejemplo, el sistema plata-cobre se refiere a todas las aleaciones con composiciones que oscilan entre un 100% en plata y un 100% en cobre. (McCabe J.F. 1990)

En estado fundido los metales de una aleación suelen tener solubilidad mutua, el uno en el otro, permitiendo así su combinación física. Forman un compuesto homogéneo, es decir, de una sola fase. Cuando se enfría la mezcla fundida por debajo del punto de fusión pueden ocurrir cuatro cosas. (Macchi R.L. 1987)

Los metales componentes pueden seguir disueltos formando una solución sólida. La solución sólida puede tomar tres formas. Una solución sólida al azar en la que los átomos de los metales componentes ocupan lugares al azar en una red cristalina común. (solución intersticial) Otra posibilidad es la formación de una solución sólida ordenada, en la que los átomos de los metales o componentes ocupan puntos específicos en una red cristalina común. El tercer tipo de solución sólida es la solución sólida intersticial, en la que, por aleaciones binarias, los puntos de la red primaria están ocupados por un átomo metálico y los átomos del segundo componente no ocuparán áreas de la red metálica, sino que se disponen en los intersticios de la red. Esto se observa normalmente donde el radio atómico de un componente es mucho menor que el otro. (McCabe J.F. 1990, Macchi R.L. 1987) (Figura 7)

Las soluciones sólidas suelen ser más duras, más fuertes y tienen valores más altos de límite elástico que los metales puros de los que se derivan. Esto explica por qué es raro el uso de metales puros. El efecto de endurecimiento, conocido como endurecimiento de la solución, se cree debido al hecho de que átomos de diferente radio atómico de una misma red forman una resistencia mecánica al movimiento de dislocación a lo largo de planos de deslizamiento. (McCabe J.F. 1990)

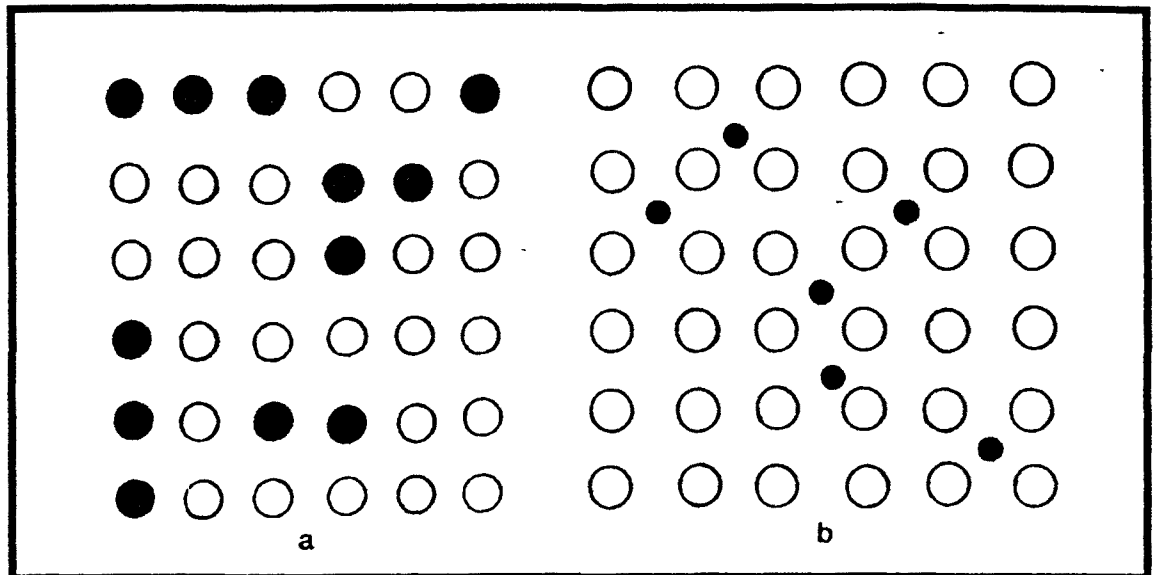


Figura 7: Esquemas de la estructura de soluciones sólidas sustitucionales (a) e intersticiales (b). (Macchi R.L. 1987)

- b) Los metales componentes pueden ser completamente insolubles en estado sólido. El examen de una aleación binaria de dos metales A y B, que muestra este comportamiento, revela la presencia de ciertas áreas que contienen el metal puro A y otras que contienen el metal puro B. Este tipo de aleación es susceptible de corrosión electroquímica, especialmente si los dos componentes tienen potenciales electroquímicos muy diferentes. (McCabe J.F. 1990)
- c) Los dos metales pueden ser solubles en parte en estado sólido. Para los metales A y B existen dos fases diferentes en el estado sólido. Una fase consiste en la solución sólida del metal B en el metal A, mientras que otra fase consiste en la solución de A en B. (McCabe J.F. 1990)
- d) Si los dos metales muestran una particular afinidad por el otro, forman un compuesto intermetálico con una formulación química precisa (por ejemplo  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ ). Dado que los compuestos intermetálicos tienen requisitos de valencias específicas, existen pocas imperfecciones del cristal y se reduce el movimiento a lo largo de los planos de deslizamiento. Por tanto, estos materiales tienden a ser relativamente duros y frágiles con baja ductilidad. (McCabe J.F. 1990)

**2.5.4. Curvas de enfriamiento:**

Los metales y aleaciones se caracterizan en ocasiones utilizando curvas de enfriamiento. Cuando se enfría lentamente un metal puro este pierde calor hasta una temperatura determinada para cada metal, en la que se mantiene durante cierto tiempo mientras está solidificando. Una vez ha solidificado, la temperatura desciende de nuevo de forma continua. (Craig R.G. 1988)(Figura 8-a)

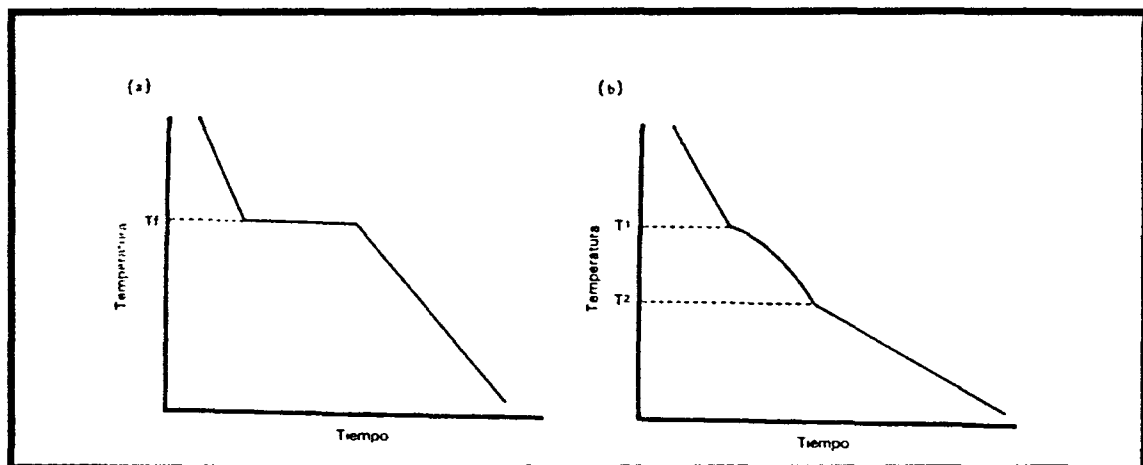


Figura 8: Curvas de enfriamiento de: a) metal puro, que muestra la solidificación a una temperatura determinada, y b) una aleación, que muestra la solidificación en un intervalo de temperaturas. (McCabe J.F. 1990)

Para metales puros la curva de enfriamiento muestra una zona horizontal en el punto coincidente con su temperatura de fusión ( $T_f$ ), que indica que la temperatura permanece constante por un período de tiempo durante la cristalización. Con pocas excepciones, las curvas enfriamiento aleaciones no muestran tal zona. La cristalización se inicia a temperatura  $T_1$  y se completa a la temperatura  $T_2$ . Por tanto, tiene lugar en una escala de temperaturas. (McCabe J.F. 1990) (Figura 8-b)

En una aleación sólida binaria de dos metales, A y B, en la que el punto de fusión del metal A sea mayor que la del metal B, el primer material a cristalizar, justo por debajo de la temperatura  $T_1$  será rico en metal A, de mayor punto de fusión,

mientras que el último material a cristalizar, a un temperatura inmediatamente inferior a  $T_2$  será rico en el metal B, de menor punto de fusión, en consecuencia el resultado será un gradiente de concentración en la aleación solidificada. A este fenómeno se le llama segregación. El material, se dice que tiene una estructura en núcleos. Estos núcleos pueden influir en la resistencia a la corrosión, dado que pueden crearse celdas electrolíticas sobre la superficie de la aleación entre áreas de diferente composición de aleación. (McCabe J.F. 1990)

Si se dispone de una serie de curvas de enfriamiento de aleaciones de diferente composición dentro de un sistema de aleación determinado, puede trazarse una gráfica de fase de la podrán extraerse muchas predicciones importantes con respecto a los núcleos y otras variaciones estructurales. (McCabe J.F. 1990)

#### **2.5.5. Diagramas de fase:**

La escala de temperaturas de cristalización de una aleación puede obtenerse fácilmente a partir de una curva de enfriamiento, como hemos visto en la figura 8-b. (McCabe J.F. 1990)

Si obtuviéramos las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  de una gama de composiciones de un sistema de aleaciones y se entraran sus valores a la composición porcentual, se obtendría una gráfica útil. Esto se muestra en la figura 9 para una solución sólida hipotética de los metales A y B. El punto de fusión de los metales puros se indica por las temperaturas  $T_{fA}$  y  $T_{fB}$ . Los límites superior e inferior de temperatura de la escala de cristalización,  $T_1$  y  $T_2$ , se muestran para las cuatro aleaciones, que oscilan en una composición que va del 80% de A y 20% de B, al 20% de A y 80% de B. (McCabe J.F. 1990)

La gráfica de fase se completa uniendo todos los puntos  $T_1$  y todos los puntos  $T_2$  con los puntos de fusión de los metales puros,  $T_{fA}$  y  $T_{fB}$ . (McCabe J.F. 1990)

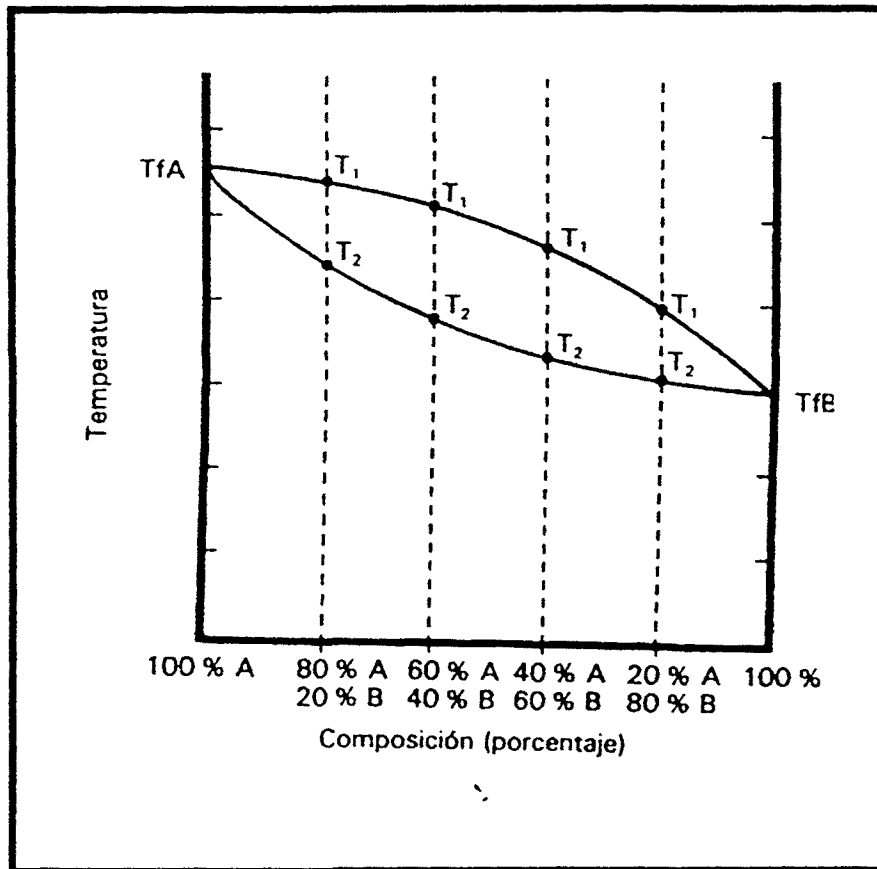


Figura 9: Diagrama de fase de una solución sólida trazado mediante una serie de curvas de enfriamiento. Las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  se obtienen de experimentos realizados utilizando aleaciones de composición variada. (McCabe J.F. 1990)

A temperaturas en la región por encima de la línea superior, conocida como línea liquidus, la aleación está totalmente líquida. A temperaturas en la región por debajo de la línea de base, conocida como la línea solidus la aleación es totalmente sólida. A temperaturas en la región entre la línea sólida y la líquida, la aleación consiste en un mezcla de sólido y líquido. La composición de las fases sólida y líquida a cualquier temperatura entre  $T_1$  y  $T_2$  puede predecirse con la ayuda de una gráfica de fase. (McCabe J.F. 1990)



**3. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS  
ALEACIONES USADAS EN  
ODONTOLOGIA:LA CORROSIÓN.**





### 3. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS ALEACIONES USADAS EN ODONTOLOGÍA: LA CORROSIÓN.

#### 3.1. Introducción.

Uno de los principales factores que determinan la durabilidad de un material utilizado en la boca es su estabilidad química. Los materiales no deben desprender constituyentes importantes dentro de los flujos orales. La propiedad que nos habla de la capacidad de un material para disolverse o no en un medio determinado es la corrosión. La corrosión es un fenómeno indeseable en muchos metales, ya que una elevada capacidad para corroerse o una pobre resistencia a la abrasión limitará el tiempo de uso del material en cuestión. (Angelini E. 1991) La corrosión de un material es una medida de la cantidad de él que se disolverá en un fluido determinado. (Moberg L.E. 1985 (a)) Esto, reduce el número de aleaciones que pueden ser usadas. Sin embargo hay materiales como el titanio, en los que los óxidos producto de su corrosión son protectores respecto al agente agresivo exterior.

La corrosión es un proceso que puede ser definido como una reacción química entre un metal y su entorno para dar lugar a la formación de iones metálicos en detrimento de la aleación en cuestión, estos productos de degradación pueden ser absorbidos y provocar reacciones indeseables a nivel de los tejidos en contacto directo o en forma más generalizada a distancia. (Bergman M. 1986) Los posibles efectos secundarios que puedan causar están en

## **Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión**

relación con la capacidad de liberar iones metálicos, es decir en relación con su resistencia a la corrosión.

En los últimos años existe una preocupación creciente en relación a los posibles efectos, tanto a nivel local como sistémico, de los metales utilizados en prostodoncia. Los efectos secundarios producidos por un metal pueden ser de naturaleza tóxica o alérgica (Bergman M. 1986, Burrows D. 1986, Munkgaard E.C. 1992)

Las reacciones alérgicas consisten en reacciones intra-orales, y más raramente cutáneas. Las reacciones producidas pueden consistir en enrojecimiento, salivación, dolor de mucosa y labios, reacciones liquenoides. Estas manifestaciones orales se dan con poca frecuencia, un estudio publicado en 1976 hallaba que sólo un 0.5 % de pacientes tenían problemas que se pudieran relacionar con hipersensibilidad a materiales dentales, la muestra era de 32.550 pacientes.

Se entiende por toxicidad la propiedad de un compuesto para producir un daño en el organismo después de haberse absorbido. Una reacción tóxica puede dañar un órgano o tejido y puede acusar la inhibición de enzimas celulares o sanguíneas, y también puede afectar el ADN, lo cual puede dar lugar a cáncer, embriopatías y fetopatías.(Craig R.G. 1988, 1990). Estas alteraciones a nivel sistémico son menos frecuentes que las alérgicas, ya que no existen estudios que demuestren afecciones generales debidas a aleaciones colocadas en boca (Hensten-Petersen A. 1992)

### **3.2. El medio oral y la corrosión.**

La corrosión puede ser clasificada en dos tipos; corrosión acuosa y corrosión no acuosa. Como el entorno oral contiene saliva nos interesa el primero de los dos casos.

El entorno oral es ideal para que se de la corrosión acuosa, ya que representa un medio agresivo para los metales puesto que éstos se hallan bañados por la saliva, un líquido

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

en el que están presentes aniones agresivos como el Cl<sup>-</sup>, y una actividad electroquímica caracterizada por un potencial de oxidación desde -58 a +212 Mv, y un pH que oscila entre 6.1 y 7.9 (Ewers G.J. 1985) y están expuestos a cambios bruscos de tensión de oxígeno, salinidad, pH y temperatura. (Mezger P.R. 1989(a), 1989(b)).

Es importante tener en cuenta la gran variabilidad de las condiciones ambientales que experimenta el medio bucal. El consumo de bebidas muy ácidas y el uso de pastas dentífricas alcalinas aumenta este rango desde pH 2 a pH 11. Es posible que un material sea extremadamente estable en situaciones de pH medio pero que se disuelva rápidamente en condiciones de extrema alcalinidad o acidez. (Bergman M. 1986)

Por añadidura, están sometidos a un esfuerzo mecánico, el cual puede llegar a ser de gran magnitud en presencia de bruxismo. (Bergman M. 1986)

### 3.3. Aleaciones y corrosión:

El fenómeno de la corrosión puede verse amplificado según la composición, la microestructura y las condiciones de elaboración de la aleación. Esta corrosión puede ser generalizada o localizarse en una zona en particular, especialmente en los márgenes, puntos de contacto o discontinuidades microscópicas. (Bergman M. 1986)

La presencia de varias fases (granos de composición y estructuras muy diferentes) en una misma aleación puede estimular la degradación por corrosión, cuando las aleaciones son monofásicas generalmente resisten mejor. (Lucas L.C. 1992)

### 3.4. La celda electrolítica:

Algunos componentes de la saliva, alimentos, medicamentos o la presencia de otras aleaciones en la boca pueden aumentar la corrosión. (Bergman M. 1986) Los metales y

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

aleaciones son buenos conductores eléctricos y muchos procesos de corrosión entrañan la creación de una celda electrolítica como primera etapa del proceso. (Moberg L.E. 1985(a))

¿Qué es una celda electrolítica?:

Consideremos que tenemos un electrolito conteniendo cationes  $M^+$  y aniones  $A^-$ . Si dos conductores eléctricos, o electrodos, se colocan en este electrolito y una diferencia de potencial eléctrico se establece entre ellos con una batería, entonces tendremos movimiento de iones. Los cationes se moverán hacia el electrodo cargado negativamente, el cátodo, y los aniones se moverán hacia el ánodo, o electrodo cargado positivamente. (Figura 10) Este proceso se denomina electrólisis. Las reacciones que se dan son: (Bergman M. 1986)

Reacción en el cátodo:  $M^+ + \text{electrón} \rightarrow M$

Reacción en el ánodo:  $A^- \rightarrow A + \text{electrón}$

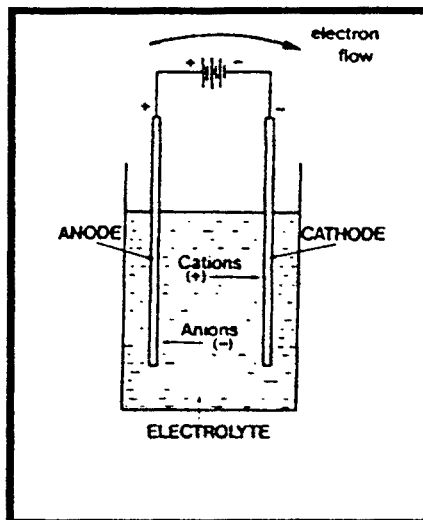


Figura 10: Muestra de la estructura de una celda electrolítica. (Pourbaix M. 1984)

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

En la cavidad oral, como ya hemos explicado, se dan todos los factores necesarios para que se produzca este fenómeno, ya que la saliva es un buen electrolito y existen diferencias de potencial.

### 3.5. La celda galvánica:

El fenómeno de la corrosión también puede darse al encontrarse dos metales diferentes en la cavidad oral. Entonces tendremos lo que se denomina una corrosión galvánica, cuyo procedimiento es el de una celda galvánica.

**¿Qué es una celda galvánica?:**

Consideremos dos electrodos de diferentes materiales, por ejemplo de cobre y zinc, sumergidos en un electrolito de sus sales. (Figura 11) Cuando entre los dos electrodos se produzca el contacto eléctrico, fluirá una corriente. Las reacciones pueden escribirse como:

Reacción en el cátodo:  $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{ electrones} \rightarrow \text{Cu}$

Reacción en el ánodo:  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 \text{ electrones}$

Esto es un ejemplo de una celda galvánica o de corrosión en la que el zinc se corroerá y el cobre se depositará en la barra del cátodo, formándose cobre puro.

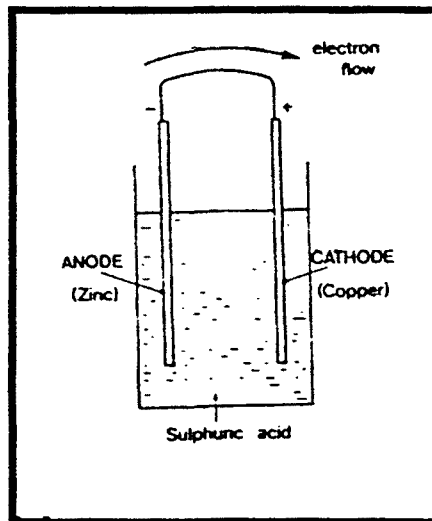


Figura 11: Muestra de la estructura de una celda galvánica. (Pourbaix M. 1984)

Las condiciones bajo las cuales puede establecerse una celda galvánica en la boca suponen la presencia de dos o más metales de diferentes potenciales de electrodo y de los electrolitos adecuados. La saliva y los líquidos hísticos son buenos electrolitos. Los dos metales pueden derivarse de restauraciones hechas con diferentes metales o aleaciones o de áreas de diferente composición dentro de una misma estructura, es decir entre las fases de una misma aleación. Por lo general, cuanto más homogénea sea la distribución de átomos metálicos dentro de un aleación, tanto menor será la tendencia a que se produzca corrosión. En consecuencia muchos fabricantes de aleaciones efectúan tratamientos térmicos de homogeneización para ayudar a eliminar la posibilidad de corrosión electrolítica. (Moberg L.E. 1985(a) y 1985(b), Bergman M. 1986, Angelini E. 1991) Tratamientos térmicos inadecuados durante o después del colado pueden igualmente ser la causa de una disminución de la resistencia a la corrosión de las aleaciones dentales.

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

### 3.6. Clasificación de los metales y aleaciones según su resistencia a la corrosión:

#### 3.6.1. Introducción:

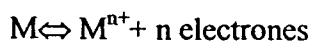
Según la ADA dividimos las aleaciones metálicas en nobles y no nobles. Las nobles son aquellas de marcada resistencia a la corrosión, y las no nobles aquellas reactivas en su entorno. (Morris H.F. 1992) Tal como ya hemos visto en capítulos anteriores.

#### 3.6.2. Tendencia a la corrosión. El potencial de electrodo.

La tendencia a la corrosión de un metal puede valorarse por su potencial de electrodo.

**¿Qué es el potencial de electrodo?:**

Si consideramos la reacción reversible:

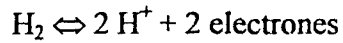


La reacción directa ( $M \rightarrow M^{n+} + n \text{ electrones}$ ) libera electrones, es decir es la reacción de oxidación del material, y la reacción inversa ( $M^{n+} + n \text{ electrones} \rightarrow M$ ) los consume, es la reacción de reducción. Cuando los electrones son producidos esto causa un potencial en el electrodo. Este potencial de electrodo indica el sentido principal hacia el que se desarrollará la reacción, indicando la tendencia del metal a corroerse.



## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

El potencial de electrodo estándar se expresa normalmente en relación a la reacción patrón:



a la que se le ha dado el valor de cero. El metal que tiene el menor potencial estandar de electrodo actúa como ánodo y se corroerá.

En la figura 12 puede observarse que los materiales con grandes valores de electrodo de potencial negativo son más reactivos, mientras que los que tienen valores más positivos son mucho menos reactivos y a menudo se denominan metales nobles. (McCabe J.F. 1990)

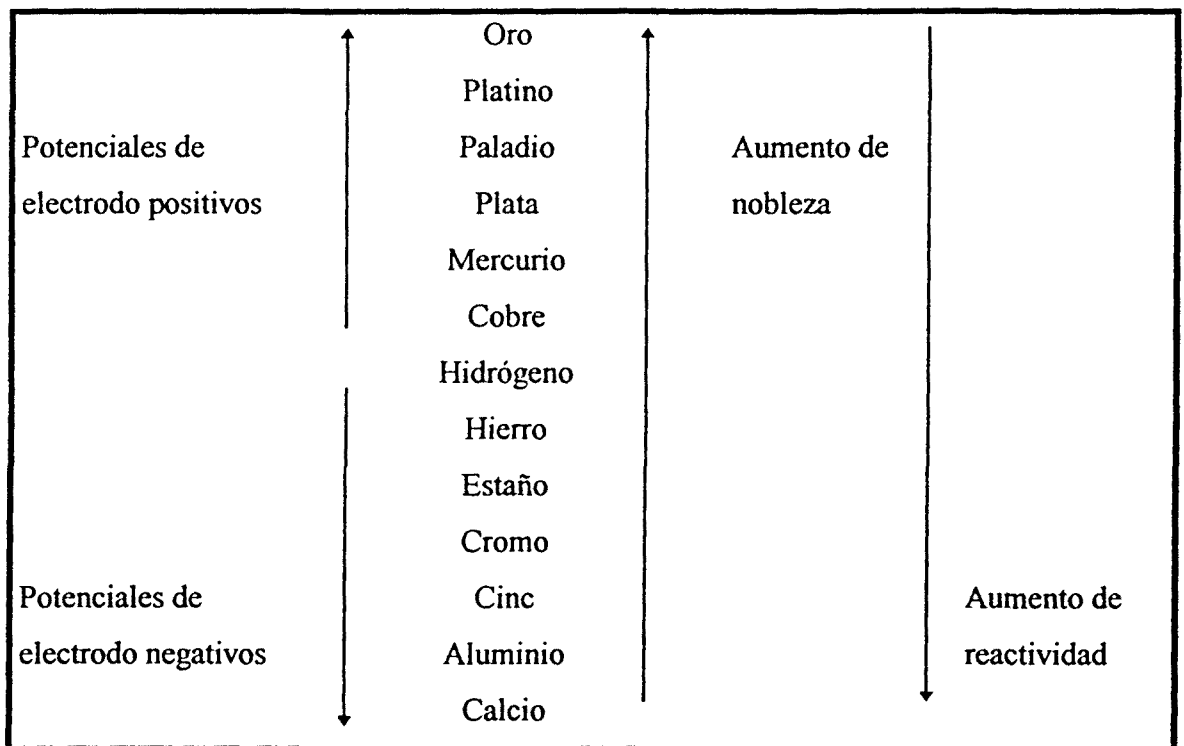


Figura 12: Potenciales de electrodo de diferentes elementos químicos. (McCabe J.F. 1990)

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

En una celda electrolítica en la que están implicados dos metales, se pierde material desde el metal con el potencial de electrodo más negativo. Así, por ejemplo, cuando contactan cinc y cobre en presencia de un electrolito adecuado se pierde material del cinc. (McCabe J.F. 1990)

En este tipo de célula electrolítica el cinc será el ánodo. Este es el electrodo en el que se forman iones positivos y, en consecuencia, es en el que se produce la corrosión. El cobre será el cátodo. Cuanto más negativo es el valor de potencial eléctrico que un metal posee, más probable es formar el ánodo en una célula electrolítica. (McCabe J.F. 1990)

La variabilidad fisiológica de los diversos individuos puede producir fenómenos de corrosión muy diversos frente a la misma aleación, por lo que se deben diseñar aleaciones muy resistentes a los ensayos in-vitro para así tener la seguridad de que darán buenos resultados en la mayoría de los individuos. (Sturdevant J.R. 1987)

La resistencia a la abrasión también es otra característica importante, ya que es posible observar la situación en la que la capa superficial del material se ablanda y socava por efecto de la corrosión, y a continuación queda separada por completo por efecto de la abrasión. (Dahl B.L. 1993)

Otros factores que pueden afectar a la corrosión de metales y aleaciones son la tensión y la tosquedad superficial. La tensión en los componentes metálicos por flexiones excesivas o continuadas, pueden acelerar la tasa de corrosión y dar lugar al fracaso por agrietamiento. Los hoyos en superficies rugosas pueden conducir a la creación de pequeñas celdas de corrosión en las que el material de la base del hoyo actúe como ánodo y el de la superficie como cátodo. El mecanismo de este tipo de corrosión, a veces denominado celda de concentración de corrosión, es complicado, pero se produce debido a que los hoyos tienden a rellenarse con residuos que reducen la concentración de oxígeno en la base del hoyo comparada con la superficie. Para reducir la corrosión por este mecanismo, los metales

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

y aleaciones utilizados en la boca deben ser pulidos para eliminar las irregularidades de la superficie. (Bergman M. 1986)

### 3.6.3. La polarización.

La polarización es la disminución del paso de corriente que hará disminuir la velocidad de corrosión.

Lo que se extienda la corrosión en el tiempo depende principalmente de la polarización. Este fenómeno es la combinación de tres factores:

- i) La activación de la polarización: resulta de la diferencia de potencial requerida para permitir que las reacciones del electrodo tengan lugar a una cierta velocidad.
- ii) La concentración de la polarización: debido a la acumulación de productos de la reacción, puede ocurrir, por ejemplo, que alrededor del ánodo de zinc, haya una concentración de iones de zinc, lo que reducirá la corriente hasta que ellos se vayan al cátodo.
- iii) La polarización debida a la formación de una película en la superficie del electrodo puede reducir la velocidad de la reacción electroquímica.

#### **Polarización de ánodo y cátodo:**

La figura 13 ilustra la polarización del ánodo y del cátodo. Esas curvas se obtienen midiendo el potencial de cada electrodo a una corriente determinada. Cuando aumenta la corriente de la celda, el potencial de electrodo aparente del ánodo aumenta mientras que el del cátodo decrece. La corriente en el punto donde esas curvas confluyen se llama la corriente de corrosión,  $I_c$ , y es la corriente máxima de la celda.

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

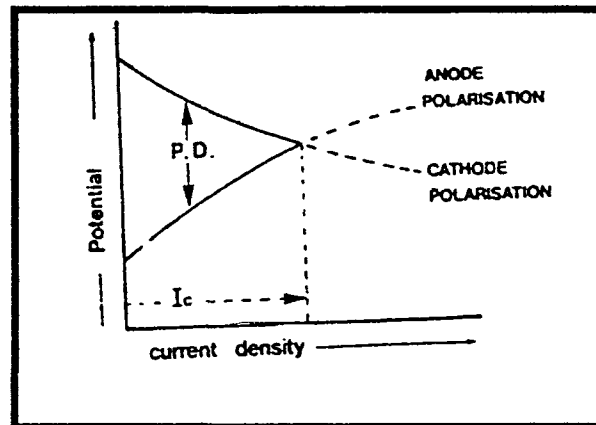


Figura 13: Curvas de la polarización del ánodo y del cátodo. (Pourbaix M. 1984)

### 3.6.4. La pasividad.

#### 3.6.4.1. Introducción.

La pasividad consiste en la formación de una capa de óxido o algún otro compuesto que aísla al metal del contacto con el medio agresivo y por tanto inhibe la corrosión. (Lucas L.C. 1992)

Para un metal capaz de formar un óxido que sea estable en la presencia de un electrolito, se obtiene una curva como la de la figura 14. En el punto X hay una discontinuidad en la curva y el potencial aumenta de repente de X a Y. Se dice que el metal se ha pasivado a potenciales superiores a X cuando se cubre por una capa de óxido. (Lucas L.C. 1992)

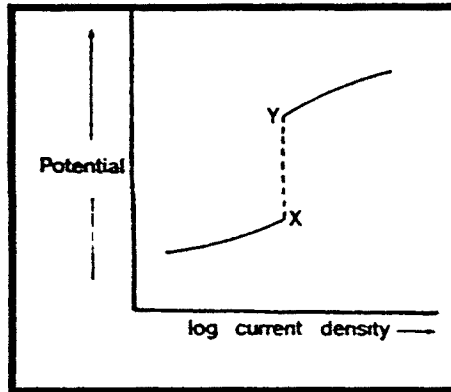


Figura 14: Curva de pasivación de un metal. (Uhling H. 1963)

Una de las características que puede presentar un metal respecto a la pasivación, es el fenómeno de la histéresis, que consiste en que una vez la capa de óxido protectora ha sido rota, por el motivo que sea, el metal presenta dificultad en repasivarse. Este fenómeno es especialmente frecuente en las aleaciones de cromo-níquel. (Lucas L.C. 1992)

#### 3.6.4.2. Mediciones potencioestáticas:

Las mediciones potencioestáticas se usan para obtener datos experimentales de pasividad. En vez de medir el potencial para una corriente determinada como en la figura 14, se controla el potencial y se mide el valor de corriente para mantener el potencial determinado, el resultado se muestra en la figura 15.

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

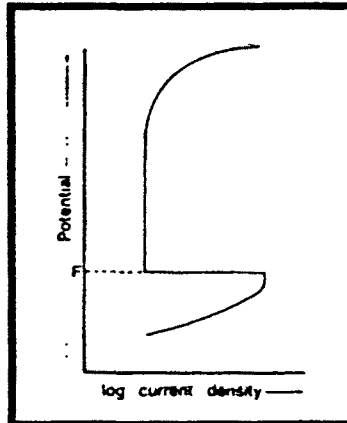


Figura 15: Curva típica de una medición potencioestática. (Uhling H. 1963)

### 3.7. Composición y corrosión de los diferentes tipos de aleaciones:

A continuación hablaremos de la corrosión de diferentes aleaciones y de los productos de corrosión que se desprenden. Debemos tener en cuenta que muchas de las aleaciones con las que tratamos tienen la capacidad de formar estructuras multifásicas dependiendo del proceso de laboratorio al que se les somete, lo que puede contribuir a la capacidad de liberar iones en el huésped. (Lucas L.C. 1992)

#### 3.7.1. Corrosión de las aleaciones nobles:

Aunque son consideradas de alta resistencia a la corrosión, se demuestra que las aleaciones de base de oro liberan iones de cobre, zinc, plata, oro y platino, aunque en pequeña magnitud. (Wright D.C. 1982, Pourbaix M. 1984, Moberg L.E. 1985(a), Lucas L.C. 1992) Las aleaciones de bajo contenido en oro son menos resistentes a la corrosión que las de alto contenido en oro (Mezger P.R. 1989(a)).

En las aleaciones de paladio-plata se libera plata y se ha demostrado que son más resistentes cuanto menos plata contienen. (Mezger P.R. 1989(c), Lucas L.C. 1992)

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

En las de paladio-cobre (15% en peso de Cu) y las paladio-cobalto (19% en peso de cobalto), liberan en un principio cobre y cobalto dejando, posteriormente, una superficie pulida de paladio de muy alta resistencia a la corrosión. (Goehlich V. 1990)

### 3.7.2. Corrosión de las aleaciones no nobles:

Cromo-cobalto y cromo-níquel: La resistencia a la corrosión de estas aleaciones depende de la formación de la capa de pasivación, que consiste en la formación de una fina capa de compuestos metálicos que se forman en la superficie del metal como consecuencia de una corrosión inicial y que actúa como una protección. (Geis-garstorfer J. 1991, Lucas L.C. 1992) Si esta capa sufre una interrupción, la aleación debe volver a pasivarse para quedar de nuevo protegida. Por tanto, la estabilidad y la habilidad de la capa de pasivación para volverse a formar son unas consideraciones importantes a la hora de determinar las propiedades de estas aleaciones. (Lucas L.C. 1992)

Se ha sugerido que en estas aleaciones un contenido de cromo entre el 16 y el 27% puede conferir a la aleación una resistencia a la corrosión importante, y si se les añade manganeso y molibdeno esta resistencia aún aumenta más. Por el contrario, el berilio forma con el cromo y el níquel una fase eutéctica especialmente susceptible a la corrosión. (Lucas L.C. 1992)

Las aleaciones de cromo-cobalto presentan una buena capacidad de pasivación, pero se ha comprobado que existe una liberación sostenida de iones. (Moberg L.E. 1985(b)) Las aleaciones de cromo-níquel tienen dificultad en repasivarse si se rompe esta capa, lo que se conoce como el fenómeno de histéresis, y tienen más tendencia a la corrosión que las anteriores. (Moberg L.E. 1985(b), Muller A.W.J. 1990, Holland R.I. 1990, Geis-garstorfer J. 1991, Bumgardener J.D. 1993)

Aleaciones de cobre: Presentan una gran capacidad de corrosión, y se han detectado

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

procesos inflamatorios en tejidos blandos adyacentes.

Aleaciones de titanio: El titanio es uno de los metales usados en medicina más resistentes a la corrosión gracias a la capa de óxido que se forma en su superficie en condiciones estáticas. Bajo condiciones de carga, la capa de óxido no es estable para prevenir la excoiación, con lo que se da paso a una nueva liberación de iones. Esto puede representar una limitación en algunas aplicaciones.

### 3.8. Toxicidad, ingestión y biocompatibilidad de los metales.

Los estudios que miden la biocompatibilidad de los metales puros y de las aleaciones metálicas en función del comportamiento de cultivos de fibroblastos muestran que los menos citotóxicos son el oro, el paladio y el titanio. Les sigue la plata y después el níquel. El cobre es el más citotóxico de todos.(Craig R.G. 1990)

Así mismo, existen estudios que muestran que las reacciones alérgicas son más frecuentes en aleaciones de base oro que en las aleaciones de níquel. Otros estudios demuestran reacciones al paladio como estomatitis y reacciones liquenoides. Parece ser que las reacciones al paladio tienen mayor importancia en pacientes con alergia al níquel. Todas las aleaciones dentales excepto el titanio, parece que tienen potencialidad para causar reacciones en pacientes hipersensibles. (Hensen A.H. 1992)

Todas las aleaciones son más biocompatibles una vez pulidas que sin pulir porque se reduce la superficie de contacto.(Craig R.G. 1988)

De todos los componentes de las aleaciones que se han ido mencionando, al menos cinco han sido clasificados como alérgicos (cobalto, cromo, níquel, oro y paladio), dos son potencialmente tóxicos (berilio y cadmio) y cuatro poseen potencial carcinogénico (berilio, cadmio, cromo y níquel).(Munksgaard E.C. 1992)



## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

Las investigaciones efectuadas sobre pacientes no sustentan que las aleaciones dentales causen trastornos sistémicos, en cambio las irritaciones locales o las reacciones de hipersensibilidad ocurren en algunas ocasiones.(Moberg L.E. 1985(b))

**Aluminio:** No es un tóxico sistémico por su baja absorción intestinal.(Quer-Brossa S. 1983)

**Berilio:** La absorción por vía digestiva es mínima. Las sales solubles de berilio producen irritación directa de la piel y las mucosas. No se han hallado casos documentados de toxicidad de berilio por causas dentales. Donde sí que el berilio debe ser totalmente controlado es en el laboratorio dental, ya que la inhalación de sus vapores es altamente tóxica y puede llegar a producir desde irritación de la mucosa nasal a irritaciones traqueales y bronquiales, así como pneumonitis química, de la cual el enfermo se recupera en un periodo que oscila entre la semana y los seis meses, pero que puede llegar a producir la muerte del paciente. Estas pneumonitis pueden llegar a convertirse en crónicas.(Moffa J.P. 1973)

**Cadmio:** Elevada toxicidad. La dosis letal es desconocida. La ingestión de cantidades tan pequeñas como 10 mg causa la aparición de síntomas notables: náuseas, vómito, diarrea, dolor abdominal, insuficiencia renal, daño hepático y choque.(Quer-Brossa S. 1983)

**Cinc:** Es el menos tóxico de los oligoelementos. No se han descrito efectos tóxicos del catión.(Linder M.C. 1988)

**Cobre:** Cuando penetra en el organismo por vía oral es relativamente poco tóxico.(Quer-Brossa S. 1983)

**Cromo:** Uno de los elementos traza menos tóxico, pero las sales de cromo son sensibilizantes cutáneas (Munksgaard E.C. 1992) y existe entre un 1.5% y un 2% de personas reactivas al test cutáneo, aunque es rara la alergia al cromo por contacto oral.(Burrows D. 1986)

## Propiedades químicas de las aleaciones usadas en odontología: la corrosión

**Estaño:** La administración oral de estaño inorgánico es relativamente poco tóxica, lo que se debe, por una parte, a la reducida absorción intestinal y a la gran facilidad con que se elimina del organismo.(Linder M.C. 1988)

**Hierro:** La cantidad de hierro absorbida en la mucosa intestinal está perfectamente regulada por las propias demandas orgánicas.(Linder M.C. 1988)

**Manganeso:** Es muy benigno cuando se administra por vía oral y pueden darse grandes dosis sin que aparezcan efectos nocivos considerables.(Quer-Brossa S. 1983)

**Molibdeno:** Las necesidades diarias serían de 2.5 mg.(Linder M.C. 1988)

**Níquel:** Se absorbe con poca eficacia (3-6 %). No es tóxico a no ser por vía respiratoria. Por vía oral tiene muy escasa toxicidad.(Linder M.C. 1988)

El efecto carcinogénico del níquel ha sido evidenciado tanto en animales como en humanos y los órganos diana son el pulmón y el riñón. Sin embargo, ningún autor ha detectado relación entre la carcinogenicidad en humanos y el hecho de ser portador de un restauración dental en cromo-níquel.(Newman S.M. 1986)

El níquel es conocido como un sensibilizante cutáneo potente. Sin embargo existe una controversia en relación al hecho de si una restauración dental en cromo-níquel puede inducir o no una reacción de sensibilidad.(Burrows D. 1986) Sea como fuere, en la mucosa oral se requiere un concentración entre 5 y 12 veces mayor del alergen que en la piel, para provocar reacciones microscópicas a nivel de la mucosa.(Magnusson B. 1982)

**Plomo:** Tiene una elevada toxicidad.(Quer-Brossa S. 1983)

**Silicio:** En plasma hay cantidades relativamente altas de silicio (500 microgramos por decilitro) y el silicio por vía oral se absorbe con poca eficacia (1-4 %).(Linder M.C. 1988)



**4. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS  
ALEACIONES USADAS  
EN ODONTOLOGIA.**



## 4. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ALEACIONES USADAS EN ODONTOLOGÍA.

### 4.1. Desgaste:

#### 4.1.1. Introducción:

El desgaste es un proceso natural el cual ocurre cuando unas superficies se mueven mientras contactan. (Mair L.H. 1996)

Existen muchas definiciones de desgaste, la más extendida de ellas es la que propone la Institution of Mechanical Engineers of the United Kingdom, que lo define como “la pérdida progresiva de sustancia de la superficie de un cuerpo mediante una acción mecánica.”(Sulong Z.A. 1990) Existen diferentes tipos de desgaste, como veremos más adelante.

En general el desgaste es antagónico con la conservación, y aunque es imposible prevenir el proceso, sus efectos pueden ser minimizados. Una adecuada selección del material usado puede mejorar los resultados clínicos obtenidos. (Sulong Z.A. 1990)

La remoción de sustancia de un cuerpo puede ser atribuida a diversos tipos de desgaste, como el adhesivo, abrasivo, de fatiga, de impacto y corrosivo. Además, tensiones mecánicas, térmicas, químicas y eléctricas pueden acrecentar el desgaste sufrido por las superficies en cuestión. (Sulong Z.A. 1990)

El desgaste es uno de los fenómenos más difíciles de estudiar, y existen diversos factores que influyen en él.

#### 4.1.2. Area de contacto real y aparente:

Incluso las superficies pulidas más minuciosamente son rugosas microscópicamente y por tanto pueden dar a lugar al desgaste. (Sulong Z.A. 1990)

Dado que no existen superficies microscópicamente lisas, es muy importante conocer la diferencia entre la superficie de contacto real y la superficie de contacto aparente que se produce cuando dos superficies, microscópicamente rugosas, entran en contacto. (Bowden F.P. 1950)

El contacto físico entre dos superficies está localizado exclusivamente en diversos puntos, denominados uniones. La suma del área de contacto de esas uniones nos da la superficie real de contacto, (Bowden F.P. 1950) mientras que la aparente sería el área macroscópica de las superficies que están enfrentadas en ese momento. Si observamos la zona de contacto entre dos superficies con un microscopio observaremos que el área real de contacto es sólo de  $10^{-2}$  a  $10^{-4}$  del área de contacto aparente, de forma que la presión será extremadamente alta en cada uno de los microcontactos. (Dahl B.L. 1993)

#### 4.1.3. Tipos de desgaste:

##### 4.1.3.1. Desgaste adhesivo:

El desgaste adhesivo sucede cuando un material sólido resbala sobre la superficie de otro material sólido y/o es presionado contra él. (Sulong Z.A. 1990) Por efecto de la fricción ocurre que las asperezas causadas en una de las superficies quedan soldadas a la otra. (Mair L.H. 1996) (Figura 16-a) El volumen de material transferido es proporcional a la superficie real de contacto y a la distancia de deslizamiento. Si la presión es baja o intermedia, su valor también es proporcional al volumen de material

transferido, pero éste es independiente cuando la presión es elevada, ya que ésta produce deformación plástica en el material. (Rabinowicz E. 1995)

#### **4.1.3.2. Desgaste abrasivo:**

El desgaste abrasivo ocurre cuando una superficie rugosa y dura frota y se introduce en una superficie blanda (Sulong Z.A. 1990, Mair L.H. 1996) como se ve en la figura 16-b. A su vez hay casos diferentes de desgaste abrasivo:

- a) El desgaste a dos cuerpos, que se da cuando esas asperezas forman parte de una de las dos superficies. (Mair L.H. 1996)
- b) Desgaste a tres cuerpos, que ocurre cuando el desgaste es producido por partículas sueltas que se han interpuesto entre las dos superficies friccionantes. Si estas partículas han sido transportadas por un gas o líquido, entonces estaremos hablando de desgaste erosivo. (Sulong Z.A. 1990) Por supuesto que el material que va siendo arrancado de una superficie en un caso de desgaste a dos cuerpos pueden interponerse entre las dos superficies y causar un desgaste a tres cuerpos o ser transportados por un gas o líquido y causar erosión. (Rabinowicz E. 1995, Mair L.H. 1996)

El desgaste abrasivo es proporcional a la dureza de los materiales en contacto, a la geometría de las partículas abrasivas, a la carga y a la distancia de deslizamiento. (Rabinowicz E. 1995)

El desgaste abrasivo lo usamos a nuestro favor en las operaciones de pulido de metales usados en odontología. (Sulong Z.A. 1990)

#### **4.1.3.3. Desgaste de fatiga:**

Este tipo de desgaste se produce cuando una superficie presiona sobre un sólido, resbalando sobre él de manera cíclica sin arañarlo. Este proceso crea una zona de



compresión por delante de la zona de contacto y una zona de tensión por detrás. (Figura 16-c) Esta situación, produce que se forme un punto de fractura en el interior del material, el cual se va propagando a consecuencia de la repetición de los ciclos. Si la fractura se propaga hasta la superficie, se fractura el objeto y, en consecuencia, se pierde material. Este material perdido puede actuar como partículas de desgaste y causar un desgaste a tres cuerpos. (Dahl B.L. 1993, Rabinowicz E. 1995, Mair L.H. 1996)

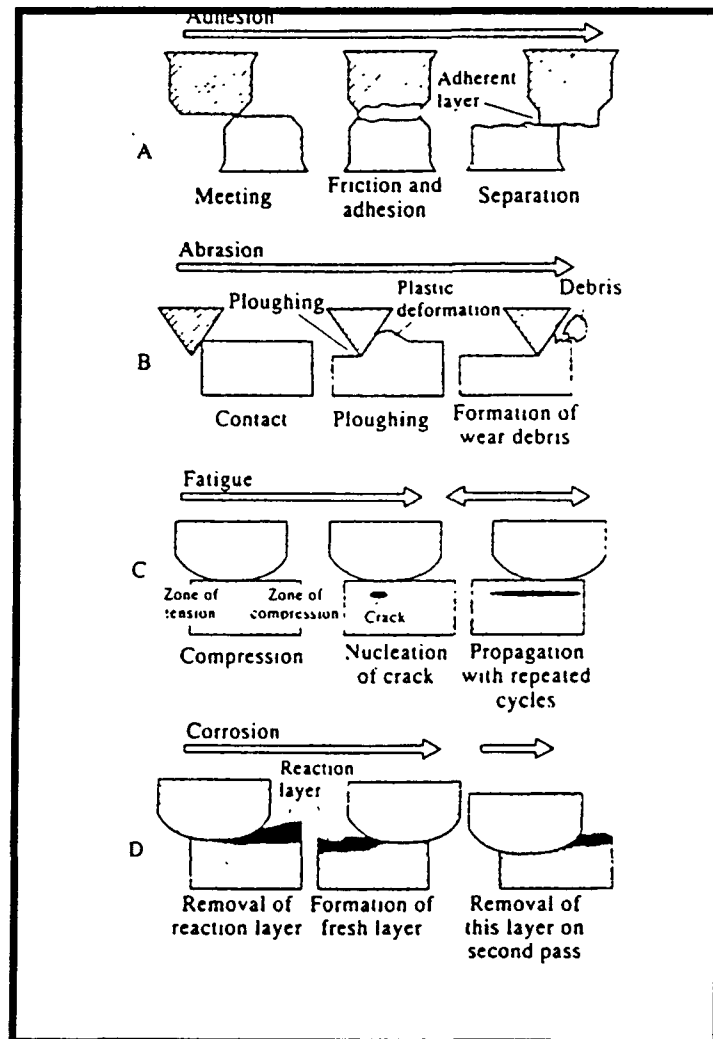


Figura 16: Esquematización de diversos tipos de desgaste. (Mair L.H. 1996)

**4.1.3.4. Desgaste de impacto:**

El desgaste de impacto o de percusión sucede cuando dos superficies sólidas golpean repetitivamente entre ellas. En odontología el desgaste de impacto probablemente se produce cuando masticamos, tragamos o cerramos los dientes. (Sulong Z.A. 1990)

**4.1.3.5. Desgaste químico o corrosivo:**

También se denomina desgaste corrosivo. Por efecto de la corrosión en la superficie del material, se forma una capa de material corroído que posteriormente será arrancada por la superficie friccionante. Una vez eliminada esta primera capa, la reacción química continúa y formará una nueva capa de material corroído que volverá a ser arrancada y así el proceso va repitiéndose. (Figura 16-d) (Sulong Z.A. 1990, Arnell R.D. 1991, Mair L.H. 1996)

Algunas condiciones que pueden afectar este desgaste corrosivo son la fuerza de masticación, el efecto lubricante de la saliva, la calidad del metal (composición, dureza, acabado de la superficie) y las características químicas del entorno. (Sulong Z.A. 1990)

En el entorno oral el desgaste que puede darse es el de dos o tres cuerpos o ambos a la vez. Si solamente hay saliva en el entorno el desgaste se reduce a un desgaste de dos cuerpos, la introducción de un agente abrasivo (comida, dentífrico) produce una situación de tres cuerpos. Probablemente en la cavidad oral no sólo se da el desgaste abrasivo, sino que se incluyen aspectos de fatiga, corrosión, impacto y adhesión.

## 4.2. Dureza:

La dureza se define como la resistencia que ofrece un material a que se le haga una indentación permanente.

Para medirla, el método más habitual consiste en realizar una indentación en el material a testar con un penetrador o indentador conocido aplicando sobre él una carga preestablecida.

Existen diversos métodos par calibrar la dureza. La diferencia ente ellos radica en el indentador usado y la carga aplicada. (Macchi R.L. 1987) Generalmente, valores bajos de dureza indican un materia blando, es decir un material fácilmente indentable, y valores altos un material duro, difícilmente indentable. El valor de dureza se usa generalmente para dar una indicación de la resistencia a la abrasión del material que estamos estudiando, particularmente cuando en el proceso de desgaste se incluye un rozamiento. (McCabe J.F. 1990) Algunos de los métodos usados habitualmente para medir la dureza son Vickers, Knoop, Brinell y Rockwell. (Craig R.G. 1988)

El test de dureza de Brinell mide el área de la indentación hecha por una esfera de 1.6 mm cuando se la carga con 123 N. Usa un indentador en bola de acero, produciendo una indentación semiesférica. (Craig R.G. 1988)

Para el test de Rockwell se usa un indentador que puede ser un cono o una esfera de metal y se mide la profundidad de la indentación. (Craig R.G. 1988)

Métodos más exactos son los basados en el empleo de indentadores de diamante tallados en formas especiales. (Macchi R.L. 1987)

Vickers y Knoop usan una pirámide de diamante para valorar la dureza de la pieza ensayada, aunque mientras que en método Vickers la pirámide es de base cuadrada, en el sistema de Knoop el eje de la pirámide de diamante es mucho mayor que en el anterior. (McCabe J.F. 1990)

La dureza de Vickers, que es el método que usaremos en este estudio en el apartado de dureza, se cuantifica con el cociente obtenido de dividir el valor del test de carga de un indentador piramidal de diamante de ángulo  $\theta = 136^\circ$ , por el área de la superficie obtenida en una indentación permanente y se calcula por la ecuación siguiente.

$$HV = (0.189 \cdot F) / d^2$$

donde HV es el número de dureza Vickers, F la fuerza del test (N) y d la longitud de la diagonal máxima (mm),  $(d_x + d_y)/2$ .

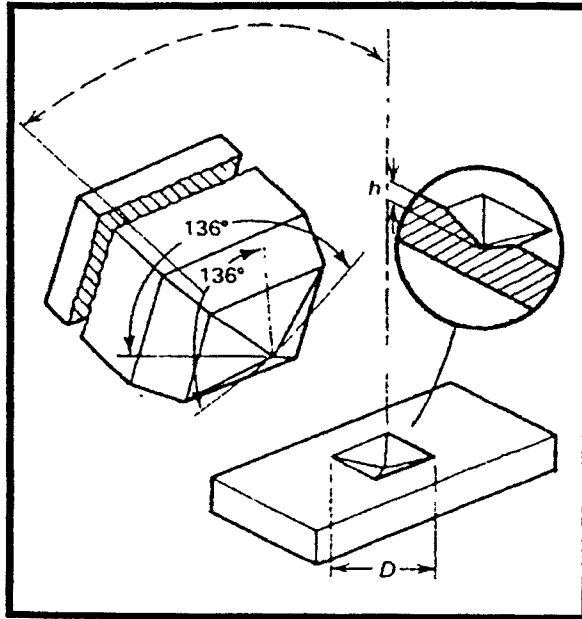


Figura 17: Indentador Vickers. (Underwood R.L. 1994)

La dureza del material testado será inversamente proporcional al tamaño de la señal dejada. La figura 18 muestra las indentaciones producidas por cada uno de los sistemas explicados anteriormente. (McCabe J.F. 1990)

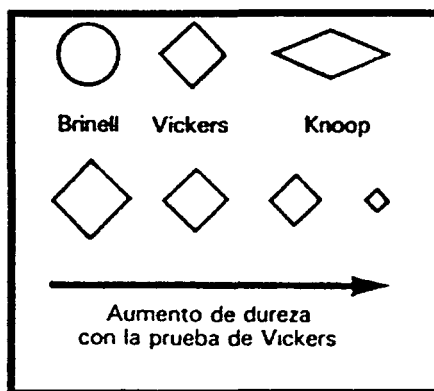


Figura 18: Formas de las indentaciones producidas por tres tipos de ensayo de dureza. La reducción del tamaño de la indentación indica un material más duro. (McCabe J.F. 1990)

Las mediciones se realizan normalmente con un microscopio, ya que son demasiado pequeñas para ser vistas a ojo descubierto, excepto en el caso de Rockwell donde el indentador hace una lectura directa de la profundidad de la penetración. (Craig R.G. 1988)

La tabla 1 muestra la dureza Vickers de algunos materiales dentales.

Material	Número de dureza Vickers
Esmalte	350
Dentina	60
Resina acrílica	20
Amalgama	100
Porcelana	450
Aleación de Cr/Co	420

Tabla 1: Se muestran las durezas Vickers de algunos materiales dentales. (McCabe J.F. 1990)

### **4.3. Elasticidad:**

La aplicación de una fuerza externa sobre un cuerpo da como resultado una deformación en el mismo, por el mecanismo que hemos explicado en el capítulo "Materiales colados: Estructura cristalina". Recordemos que los metales y aleaciones

están formados por una red cristalina, donde existe cierta tendencia a la estructura cristalina perfecta aunque en ocasiones aparecen defectos denominados dislocaciones que cuando se colocan bajo una tensión suficientemente alta pueden moverse a través del retículo hasta que alcanzan los límites de un grano, donde se para el movimiento. Recordemos, así mismo, que el plano a lo largo del cual se mueve la dislocación se llama plano de deslizamiento y la tensión necesaria para iniciar el movimiento es el límite elástico.

Esta deformación puede ser recuperable, es decir el material recuperará su forma anterior al retirar la fuerza aplicada, o no recuperable cuando el cuerpo permanece deformado.

Para estudiar las propiedades elásticas de los materiales se aplica una tensión, cada vez superior, sobre un cuerpo y se evalúa la deformación producida. En una primera fase, zona elástica, el cuerpo recuperaría totalmente su forma anterior al cesar la fuerza que le estamos aplicando. A partir de una determinada zona la muestra no es capaz de recuperar totalmente su estado anterior, nos encontramos en la zona plástica. El punto en el que acaba la zona elástica y empieza la plástica se denomina “límite elástico”. (Macchi R.L. 1987) El límite elástico de un material es la mayor tensión a que puede ser sometido un material, y que, una vez liberadas las fuerzas permite que regrese a sus dimensiones originales. (Phillips R.W. 1993) Si seguimos aumentando la fuerza aplicada sobre el cuerpo, llegamos a un punto en el que el material no puede soportar la tensión que estamos aplicando sobre él y se fractura, ese punto se denomina “tensión de fractura”. (McCabe J.F. 1990)

También existe un punto llamado “límite proporcional” en el que puede observarse que existe una relación lineal entre la fuerza aplicada y la deformación. En el pequeño espacio que existe entre el límite proporcional y el límite elástico, los aumentos proporcionales de tensión generan una deformación mayor. (Craig R.G. 1988)

Para los tipos más simples de ensayos de tracción o compresión, la gráfica registrada sería la mostrada en la figura 19, donde P es el límite proporcional, E es el límite elástico y T la tensión de fractura:

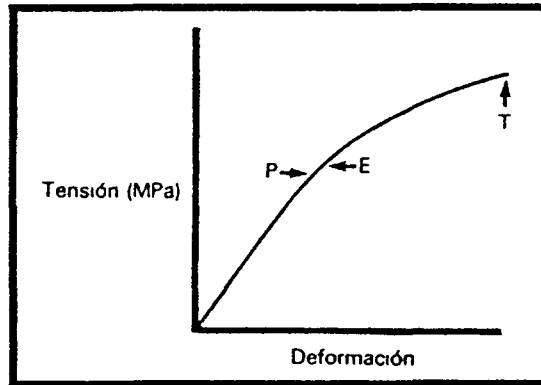


Figura 19: Gráfica típica de la tensión-deformación obtenida en un ensayo de tracción o compresión simple. (McCabe J.F. 1990)

#### **4.4. Ductilidad y maleabilidad (el trabajo en frío):**

En el capítulo 2.5.1. (“Estructura cristalina”) hacíamos mención a la deformación permanente que se produce, al aplicar una fuerza suficientemente elevada, debido al movimiento de las dislocaciones a lo largo de los planos de deslizamiento.

Estos cambios se producen cuando la tensión es mayor que el límite elástico y a temperaturas relativamente bajas. Este trabajo en frío no sólo produce un cambio en la microestructura, concentrándose en las dislocaciones en los límites del grano, sino también un cambio en la forma del grano. Estos granos dejan de ser equiaxiales y adoptan una estructura más fibrosa. Se alteran las propiedades del material, volviéndose más duro y fuerte con un mayor valor del límite elástico. El trabajo en frío a menudo se denomina endurecimiento por trabajo. (Phillips R.W. 1993)

El valor de deformación registrado entre el límite elástico y la tensión de fractura indica el grado de deformación permanente que puede aplicarse a un material hasta el punto de fractura. En los ensayos de tracción nos indica la ductilidad, es decir

## Propiedades mecánicas de las aleaciones usadas en odontología

la capacidad de un material de ser doblado o estirado sin romperse, y en ensayos de compresión la maleabilidad, es decir la capacidad de un material de ser batido y extendido en planchas. (McCabe J.F. 1990)

En general la ductilidad disminuye con el aumento de temperatura mientras la maleabilidad aumenta al aumentar la temperatura. El oro es el metal más dúctil y maleable, la plata es el segundo. (Phillips R.W. 1993)





## **5. ALEACIONES DE USO DENTAL.**



## **5. ALEACIONES DE USO DENTAL.**

### **5.1. Tipos de metales:**

#### **5.1.1. Metales nobles:**

El término “noble” hace referencia a aquellos metales que presentan una marcada resistencia a la corrosión. El metal noble por tradición ha sido el elemento básico para incrustaciones, coronas y puentes, en virtud de su resistencia a la corrosión en la cavidad bucal. (Morris H.F. 1992) La tabla periódica de los elementos muestra ocho metales nobles: oro, platino, metales del grupo platino (paladio, rodio, rutenio, iridio, osmio) y plata. (Philips R.W. 1993) Sin embargo, en la cavidad bucal la plata es reactiva y por ello no se considera metal noble. (Morris H.F. 1992)

#### **5.1.2. Metales no-nobles:**

También denominados metales base. Estos metales son los que reaccionan químicamente con el medio bucal. (Morris H.F. 1992)

#### **5.1.3. Metales seminobles:**

No hay ninguna clasificación aceptada que defina este concepto, por ello se excluye este término. (Morris H.F. 1992) Sin embargo en la literatura científica es

frecuente encontrar el término “seminoble” para mencionar aquellas aleaciones que contienen metales nobles en baja proporción mezclados con metales no-nobles.

### 5.1.4. Metales preciosos:

Mientras el término noble identifica a los elementos en función de su estabilidad química, la designación “precioso” indica si el metal tiene un valor intrínseco. (Morris H.F. 1992) Los ocho elementos nobles que anteriormente hemos citado, también son metales preciosos. Cabe aclarar que el término precioso se considera definitivo y oficial en estos ocho metales. Así todos los metales nobles son preciosos, pero no todos los preciosos son nobles. (Phillips R.W. 1993)

De estos ocho metales, cuatro son de importancia principal actualmente en aleaciones para vaciado dental: oro, plata, platino y paladio. Todos ellos tienen una estructura cúbica cristalina centrada en las caras. Son de color blanco, excepto el oro, que es de un color amarillo característico denominado “amarillo oro”. (Phillips R.W. 1993)

## 5.2. Tipos de aleaciones:

### 5.2.1. Aleaciones de metales nobles:

#### 5.2.1.1. Aleaciones de oro:

El oro puro es demasiado blando para mantener su forma bajo las fuerzas de masticación. Su resistencia y dureza pueden mejorar en gran medida por trabajo en frío o aleación colada. (McCabe J.F. 1990)

En 1927, el Bureau of Standards estableció las aleaciones de oro para colado tipo I a IV, según su función dental, con un aumento de dureza progresivo. (Phillips R.W. 1993) (Tabla 2)

<b>Tipo</b>	<b>% Au</b>	<b>% Ag</b>	<b>% Cu</b>	<b>% Pd</b>	<b>% Pt</b>	<b>% Zn</b>	<b>Dureza Vickers</b>
Tipo I (Blando)	79-92.5	3-12	2-4.5	0-0.5	0-0.5	0-1	50
Tipo II (Medio)	75-78	12-14.5	7-10	1-4	0-1	0.5-1	90
Tipo III (Duro)	62-78	8-26	8-11	2-4	0-3	1	120
Tipo IV (Extraduro)	60-71.5	4.5-20	11-16	0-5	0-3.5	1-2	150

Tabla 2: Clasificación de las aleaciones de oro para colados. (McCabe J.F. 1990, Phillips R.W. 1993)

A parte de los metales representados en la tabla anterior también entran en la composición de las aleaciones de oro metales como el indio, el iridio, el renio y el germanio en las aleaciones destinadas a restauraciones de metal o de metal-resina, y el rodio, el indio, el estaño, el hierro, el iridio y el renio en las aleaciones para metal-porcelana. (Sturdevant J.R. 1987)

El aumento de la dureza se observa cuando se reduce la nobleza, se debe principalmente al efecto de endurecimiento de la solución de los metales de la aleación; dado que todos forman aleaciones sólidas con el oro. (McCabe J.F. 1990)

El oro proporciona a estas aleaciones la elevada resistencia a la corrosión, buena colabilidad, buena ductilidad y el distintivo color amarillo. (Morris H.F. 1992)

La presencia de cantidades significativas de platino y paladio, como en las aleaciones III y IV, no sólo produce un considerable endurecimiento de la solución, sino que también induce un ensanchamiento de la separación entre la línea solidus y liquidus de la gráfica de fase de solución sólida. (Morris H.F. 1992) El resultado es un aumento de la nucleación.

El paladio y el platino aumentan la resistencia a la corrosión. (Lucas L.C. 1992) También aumentan la temperatura de colado y la dureza. (Morris H.F. 1992)

El zinc presente a una concentración de un 1% actúa como “basurero” durante el colado. Es el metal químicamente más reactivo de los utilizados y se oxida de preferencia a las elevadas temperaturas de colado. Esta capa de oxidación es fácilmente eliminable una vez el colado está finalizado. Aumenta la facilidad de colado y forma compuestos intermetálicos que endurecen la aleación. (Lucas L.C. 1992, Morris H.F. 1992)

La plata reduce la densidad, blanquea la aleación y contrarresta el color rojo del cobre. En las restauraciones de metal-cerámica, la plata puede colorear la porcelana. El cobre refuerza las aleaciones de base oro. (Lucas L.C. 1992)

El hierro mejora las propiedades mecánicas. El estaño actúa como elemento amalgamante en las aleaciones para metal-cerámica y como agente endurecedor en las aleaciones de oro-paladio. El iridio en un refinador de grano en las aleaciones de base oro para porcelana. (Morris H.F. 1992) El indio sirve como agente de unión en las aleaciones de metal-cerámica. (Lucas L.C. 1992)

La tabla 3 muestra un esquema de las propiedades comparadas de los cuatro tipos de aleaciones de oro para colado. La observación secuencial desde la I a la IV muestra un aumento de dureza y un decrecimiento de la ductilidad y la resistencia a la corrosión, aunque todas estas aleaciones pueden considerarse correctas desde el punto de vista de resistencia a la corrosión. (McCabe J.F. 1990)

---

Tipo	Dureza	Ductilidad	Resistencia a la corrosión
I			
II	Aumenta	Disminuye	Disminuye
III			
IV			

---

Tabla 3: Propiedades comparativas de las aleaciones de oro. (McCabe J.F. 1990)

**Tipo I:** Para incrustaciones pequeñas, bien soportadas por la estructura dental y que no estén obligadas a resistir grandes fuerzas de masticación. Los elevados valores de ductilidad de estas aleaciones permiten su bruñido, un proceso que mejora el ajuste marginal de la restauración. (McCabe J.F. 1990) Se pulen con facilidad y se someten a cargas muy ligeras. (Phillips R.W. 1993)

**Tipo II:** Las incrustaciones se sujetan a presiones moderadas; coronas tres cuartos, pilares, pónicos y coronas totales. Tienen propiedades mecánicas superiores a las tipo I, a expensas de una ligera reducción de la ductilidad. (McCabe J.F. 1990) Estas aleaciones tipo I y II se denominan “oros para incrustación”. (Phillips R.W. 1993)

**Tipo III:** Se utilizan cuando existe menos soporte de sustancia dental y cuando se espera una tensión relativamente alta. (McCabe J.F. 1990) Se confeccionan pequeñas coronas tres cuartos, refuerzos de vaciado, pilares, pónicos coronas totales, bases para prótesis y prótesis parcial fija de brechas cortas. (Phillips R.W. 1993)

**Tipo IV:** Incrustaciones sujetas a cargas muy pesadas, barras y ganchos para base de dentadura, para prótesis parciales, y fijas con brechas largas. Con frecuencia se hacen coronas totales con este tipo aleación. (Phillips R.W. 1993)

### **5.2.1.2. Aleaciones de Oro-Platino-Paladio:**

Estas aleaciones tienen un contenido de oro de más del 88%, con cantidades variables de platino, paladio y algo de metal base. (Phillips R.W. 1993)

### **5.2.1.3. Aleaciones de Oro-Paladio-Plata:**

Estos compuestos a base de oro contienen entre el 39 y el 77% de oro, más de 35% de paladio y niveles de plata hasta de 22%. (Phillips R.W. 1993)



**5.2.1.4. Aleaciones de Oro-Paladio:**

El contenido en oro va de 44 a 55%; el paladio, de 35 a 45%.(Phillips R.W. 1993)

**5.2.1.5. Aleaciones de Paladio-Plata:**

Las aleaciones para porcelana a base de paladio, tienen buena resistencia a altas temperaturas. Pero sus elevados niveles de plata, frecuentes en este sistema, producen pigmentación (amarilla, verde o color café) de algunas porcelanas dentales. Los problemas de pigmentación se solucionan en parte con la introducción de varios sistemas de porcelana inmadura. (Phillips R.W. 1993)

**5.2.1.6. Aleaciones de alto contenido en paladio:**

Las aleaciones con contenido de paladio de más del 88% tienen fórmula variadas. Una composición de éxito comercial combina el 79% de paladio con un 2% de oro y niveles bajos de cobre o cobalto. Las formulaciones más recientes tienen entre un 75 y un 86% de paladio con cantidades pequeñas de plata (7%) y niveles ligeramente altos de oro (más del 6%).(Phillips R.W. 1993)

El paladio reduce el coste de la aleación mientras que incrementa la dureza y rigidez y por tanto reduce la capacidad a la flexión. El galio contribuye a tener una microestructura más homogénea. El rutenio se usa como refinador de grano. (Morris H.F. 1992)

### 5.2.2. Aleaciones de metal no-noble:

Comparadas con las aleaciones anteriores, las aleaciones de metal no-noble generalmente, tienen mayor dureza y mayor módulo de elasticidad, pero son más difíciles de colar, con lo que se las considera más sensibles a la técnica. (JADA Association Report 1985)

#### 5.2.2.1. Aleaciones de Cromo-Níquel:

Estas aleaciones de metal no-noble varían en su composición: con niveles de níquel de más del 80% y un contenido de cromo del 13 al 22%. Las características físicas y de manipulación mejoran al añadir una pequeña cantidad de berilio (más del 2% en peso), ya que disminuye la temperatura de fusión y mejora la capacidad de colado, aunque disminuye su resistencia a la corrosión (Morris H.F. 1992) La resistencia a la corrosión de las aleaciones que contienen níquel es la causa principal de la mayor capacidad alérgica de estas aleaciones. (JADA Association Report 1985)

Otros componentes que hallamos son el molibdeno, hierro, silicio, manganeso, boro, aluminio, carbono, cobalto, galio y estaño.

El níquel permite que la aleación sea más blanda y baja la temperatura de fusión. Un contenido en cromo entre el 16 y el 27% proporciona una buena resistencia a la corrosión. El aluminio aumenta la resistencia y la dureza. El carbono se añade para aumentar la resistencia, aunque también aumenta la fragilidad. El boro disminuye la temperatura de fusión. El titanio y el manganeso aumentan la resistencia a la corrosión y actúan como agentes de unión. El hierro aumenta la resistencia. El cobalto aumenta la dureza. El cobre y el molibdeno aumentan la resistencia a la corrosión. El galio aumenta la capacidad de colado. El estaño aumenta la dureza y la resistencia. (Morris H.F. 1992)

La resistencia a la corrosión de las aleaciones que contienen níquel es la causa principal de la mayor capacidad alérgica de estas aleaciones. (**JADA Association Report 1985**)

### 5.2.2.2. Aleaciones de Cromo-Cobalto:

Se utilizaron sólo para aditamentos de prótesis parcial removible, pero ahora se consiguen fórmulas con buena unión a la porcelana dental. Estos metales no-nobles contienen del 55 al 68% de cobalto y más del 25% de cromo. Otros elementos presentes son el tungsteno, el molibdeno, el cobre, el silicio, el galio, el aluminio, el níquel, el tantalio y el rutenio en las aleaciones para metal-cerámica y el níquel, el molibdeno, el tantalio, el manganeso, el galio, el silicio, el carbono y el tungsteno en las aleaciones para prótesis parcial removible. Estas aleaciones se oxidan con mayor facilidad que las del grupo de cromo-níquel-berilio, y la longevidad de su unión con la porcelana no está establecido por completo. (**Phillips R.W. 1993**)

El cobalto aporta resistencia, dureza y resistencia a la corrosión. El cromo aporta dureza y resiliencia y aumenta la resistencia a la corrosión si su contenido alcanza un mínimo de 16% en peso. El níquel aumenta la ductilidad y baja la temperatura de fusión. El carbono, que sólo es ligeramente soluble en la solución sólida de cromo-cobalto, se halla presente en forma de carburos dispersos de cromo, cobalto o molibdeno, aumentando la dureza y la resistencia de la aleación. El manganeso es un desoxidante. El tungsteno ayuda a reducir la formación de zonas desprovistas de cromo. (**Morris H.F. 1992**)

## **6. INTRODUCCIÓN AL COLADO**



## **6. INTRODUCCIÓN AL COLADO.**

### **6.1. Introducción:**

Después de hacer un patrón de cera, la siguiente etapa para la consecución de una prótesis fija, es el colado. El único objetivo del procedimiento de colado es proporcionar un duplicado metálico de la estructura que tenemos encerada, con la mayor precisión posible. (Rhoads J.E. 1988)

Se une un bebedero al patrón, o encerado, y el conjunto se coloca en un cilindro de colado. Se vierte el material de revestimiento alrededor del patrón de cera mientras aún está líquido. Cuando el revestimiento se endurece, se eliminan la cera y el bebedero ablandándolo y quemándolo, dejando un molde que puede ser rellenado con la aleación fundida.

Una vez finalizado el colado se enfría el metal, se saca del revestimiento, procederemos a cortar el bebedero y puliremos y ajustaremos la pieza.

### **6.2. Materiales y métodos:**

#### **6.2.1. Bebederos:**

##### **6.2.1.1. Definición:**

Para que el metal fundido llegue al espacio que crearemos al quemar la cera, debe

existir un paso a través del revestimiento. La mejor forma para crear este espacio consiste en unir el patrón de cera a una base cónica mediante un bastoncito de cera, plástico o metal al modelo de la estructura a colar, este bastoncito recibe el nombre de formador del bebedero. Los de plástico o metal son más rígidos que los de cera con lo que disminuyen las posibilidades de distorsión del patrón. (Rhoads J.E. 1988)

### 6.2.1.2. Colocación:

La colocación y diámetro del bebedero es de capital importancia a la hora de conseguir que la aleación fundida entre bien en el espacio que habremos creado dentro del revestimiento. La selección depende del tipo y tamaño del patrón y el tamaño del cilindro que se va a utilizar. El punto donde uniremos el bebedero a la estructura a colar debe ser aquel que permita un flujo de metal fundido lo más continuo posible. El formador de bebedero debe ser liso y no presentar ángulos agudos en la unión con el patrón de cera o el formador del crisol. (Rhoads J.E. 1988)

El diámetro, o sección, también es un factor importante a tener en cuenta, ya que las secciones más estrechas de un colado son las primeras en enfriarse, arrastrando tras de sí el metal que aún está fundido en las secciones más gruesas, las cuales cuando se enfrían también deben tener una zona de la cual puedan arrastrar metal fundido. Esta es una de las funciones que tienen los bebederos, y por tanto deben estar pegados a las zonas más gruesas y ser de un diámetro igual al de la zona más gruesa del colado. Si esto no fuera posible deberíamos poner un reservorio de cera (por ejemplo: un volante). Se dice que el diámetro mínimo que debe tener para cumplir estas funciones a las que hacíamos referencia es de 1.7 mm. (calibre 14), excepto cuando se usan encerados sumamente pequeños, casos en los que el encerado sea muy grande podemos usar diámetros de 2.5 mm. (calibre 10). (Rhoads J.E. 1988)

La longitud de los bebederos nunca debe superar los 9 mm, para contribuir a la expulsión de los gases, y se considera que debe permitir que el patrón quede aproximadamente a 3-6 mm del extremo abierto del cilindro. (Rhoads J.E. 1988)

### 6.2.2. Cilindro de colado:

El cilindro de colado se forrará con hojas de amianto o papel cerámico para permitir una mayor libertad de expansión del revestimiento, que de lo contrario quedará limitado por el anillo o cilindro. La propiedad de compresión del forro ayuda a compensar la contracción del anillo, que se enfría más rápidamente, mientras se está fundiendo la aleación. Cuando se utiliza un forro húmedo, el agua de éste permite un cierto grado de expansión higroscópica (este concepto lo desarrollaremos en el capítulo sobre la “Expansión de compensación” de los revestimientos). (Rhoads J.E. 1988)

La colocación del recubrimiento dentro del anillo influye sobre la expansión del molde. Cuando es necesaria una expansión máxima, deberá utilizarse un recubrimiento enrasado con el extremo abierto del cilindro. Si el recubrimiento queda a más de 3-6 mm del extremo abierto del cilindro, el colado será más pequeño. Cuanto mayor sea la parte no forrada del anillo, más grande será el efecto limitante. El forro debe fijarse firmemente con cera al cilindro para evitar que se desplace durante el proceso de puesta en revestimiento. (Rhoads J.E. 1988)

Debido al riesgo potencial para la salud que implica el uso de amianto en el laboratorio, muchos fabricantes ofrecen ahora materiales de recubrimiento de cerámica. (Rhoads J.E. 1988)

### 6.2.3. Revestimientos:

#### 6.2.3.1. Requisitos de los revestimientos:

Los materiales de revestimiento forman el molde sobre el que se puede colar una aleación y, por tanto, la precisión del colado no puede ser mejor que la del molde. (Morey E.F. 1995)



## Introducción al colado

El revestimiento debe ser capaz de reproducir la forma, tamaño y detalles registrados en el patrón de cera. Si se considera que el colado se efectúa a temperaturas muy elevadas, a menudo superiores a los 1000°C, el molde de revestimiento debe ser capaz de mantener su forma e integridad a tan elevadas temperaturas. Además, el revestimiento debe tener un valor de resistencia a la compresión lo suficientemente alto a la temperatura de colado para poder resistir las tensiones que se crean cuando el metal penetra en el molde. (Morey E.F. 1995)

Los colados de aleación sufren una considerable contracción al pasar de la temperatura de colado a la temperatura ambiental. Una de las funciones del molde de revestimiento es compensar esta contracción del colado. Esto se consigue por lo general mediante una combinación de la expansión de fraguado durante el endurecimiento del molde de revestimiento y la expansión térmica durante el calentamiento del molde a la temperatura de colado. (Morey E.F. 1995)

Los principales factores implicados en la selección de un material de revestimiento son la temperatura de colado a utilizar y el tipo de aleación a colar. Algunas aleaciones de oro se cuecen a temperaturas relativamente bajas, de unos 900 °C, mientras que algunas aleaciones de cromo requieren temperaturas de colado de hasta 1450 °C. (McCabe J.F. 1990)

Se escogerá el revestimiento más capaz de retener su integridad a temperatura de colado y de proporcionar la necesaria compensación a la contracción de colado. (Morey E.F. 1995)

### 6.2.3.2. Materiales de revestimiento:

Los materiales de revestimiento consisten en una mezcla de un material refractario, normalmente sílice, capaz de resistir temperaturas muy elevadas sin degradarse, y un aglutinante, que une las partículas refractarias. La naturaleza del aglutinante caracteriza el

material. Existen tres grupos principales de material de revestimiento de uso común. (McCabe J.F. 1990)

Estos materiales son aglutinantes de yeso, sílice o fosfato.

### **6.2.3.2.1. Materiales con aglutinantes de yeso:**

Estos materiales se suministran en forma de polvo que se mezcla con agua y están compuestos por una mezcla de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y sulfato cálcico hemihidratado (producto del yeso) junto con otros componentes menores, que incluyen grafito en polvo o cobre en polvo y varios modificadores para controlar el tiempo de fraguado.

El sílice es un material refractario que resiste bien las temperaturas utilizadas durante el colado. Se presenta en tres formas alotrópicas: cuarzo, cristobalita y tridimita, que son químicamente idénticas pero con una ligera diferencia en la forma cristalina. El cuarzo y la cristobalita se utilizan para revestimientos. Además de dotar de las propiedades refractarias necesarias al revestimiento, la sílice es responsable de producir gran parte de la expansión requerida para compensar la contracción del colado de la aleación. La expansión se consigue por una combinación de expansión térmica simple junto con una “inversión” cristalina que da lugar a una expansión significativa. El cuarzo sufre la inversión a una temperatura de 575 °C, desde la denominada forma “baja”, o cuarzo- $\alpha$ , a la denominada forma “alta” o cuarzo- $\beta$ . Para la cristobalita la conversión de la forma baja a la alta se produce a temperaturas más bajas de alrededor de 210 °C. La expansión se debe probablemente a un estirado de los enlaces químicos a una forma de estructura cristalina menos densa, como se ilustra en la figura 20. (McCabe J.F. 1990)

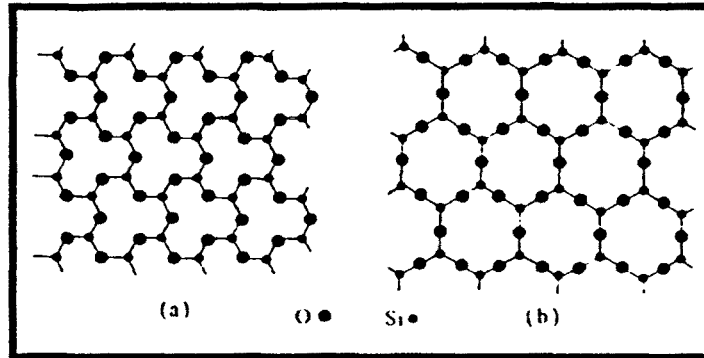


Figura 20: Enderezamiento de los enlaces durante la “inversión” del cuarzo a 575 °C. a) Existe una estructura más densa por debajo de 575 °C. b) Estructura menos densa por encima de 575 °C. (McCabe J.F. 1990)

El cambio es reversible, y tanto el cuarzo como la cristobalita revierten a la forma baja al enfriarse. La expansión de inversión de los materiales que contienen cristobalita es mayor que la de los que contienen cuarzo.

El sulfato de calcio hemihidratado es un componente esencial, dado que reacciona con el agua para formar sulfato de calcio dihidratado (yeso), que aglutina eficazmente a la sílice refractaria. La expansión de fraguado del sulfato de calcio dihidratado, al mezclarla con agua, se usa para compensar parcialmente la contracción de la reacción que se produce al colar. Una mayor compensación puede conseguirse empleando la expansión higroscópica de fraguado que se produce si el molde de revestimiento se coloca en agua en la fase inicial de fraguado. (McCabe J.F. 1990)

El último método se conoce como técnica de expansión higroscópica por inmersión en agua y puede dar lugar a una expansión cinco veces mayor que la expansión de fraguado normal. Otro método es la técnica de adición de agua, en el que se coloca un volumen de agua determinado sobre la superficie superior del material de revestimiento en el cubilete de colado. Esto produce una expansión más fácil de controlar. La expansión higroscópica

## Introducción al colado

también se ve aumentada si se reviste el cilindro de colado con una capa de amianto húmedo que puede suministrar agua a un área mayor de revestimiento del molde.

El mecanismo de expansión higroscópica no se conoce por completo. Sin embargo, cabe suponer que el agua es atraída entre cristales por acción capilar y que la separación extra de las partículas produce la expansión. (McCabe J.F. 1990)

### 6.2.3.2.2. Materiales con aglutinantes de sílice:

Estos materiales consisten en cuarzo en polvo o cristobalita que son aglutinados con un gel de sílice. Al calentarlos, el gel de sílice se vuelve sílice, de forma que el molde acabado es una masa muy compactada de partículas de sílice.

La solución aglutinante se prepara habitualmente mezclando silicato etílico, o uno de sus oligómeros, con una mezcla de ácido clorhídrico diluido y alcohol industrial. El alcohol industrial mejora la mezcla del silicato etílico y del agua, que de otro forma serían inmiscibles. Se produce una hidrólisis lenta del silicato etílico dando lugar al un sol de ácido silícico con la liberación de alcohol etílico como subproducto: (McCabe J.F. 1990)



El sol del ácido silícico forma gel de sílice al mezclarlo con cuarzo o cristobalita en condiciones alcalinas. El pH necesario se consigue por la presencia de óxido magnésico en el polvo. (McCabe J.F. 1990)

Las soluciones de aglutinante de silicato etílico hidrolizado se fabrican y almacenan

## Introducción al colado

en frascos oscuros. La solución pasa lentamente al estado de gel, se deja reposar y su viscosidad puede aumentar en gran medida a las 3 ó 4 semanas. Si esto sucede, es necesario volver a fabricar una nueva solución.

Se puede promover una hidrólisis y gelación simultánea mediante aminas, como la piperidina. Por desgracia, tal método se acompaña de una contracción inaceptable que se produce sobre todo como una reacción de hidrólisis.

Para que el material tenga una resistencia suficiente a temperatura de colado es necesario incorporar todo el polvo posible a la solución aglutinante. Este proceso se mejora mediante una gradación de tamaños de las partículas, de forma que los granos pequeños rellenen los espacios entre los granos mayores. Para fomentar una gran compactación y producir un revestimiento lo más fuerte posible se utiliza una mezcla muy gruesa casi seca de revestimiento. (McCabe J.F. 1990)

Se produce una pequeña contracción durante las primeras fases de calentamiento del revestimiento antes del colado. Esto se debe a la pérdida de agua y alcohol del gel.

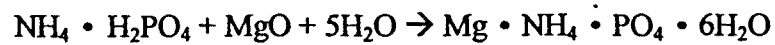
La contracción va seguida de una expansión térmica más sustancial y de una expansión por inversión de sílice similar a la observada en los revestimientos con aglutinantes de yeso. (McCabe J.F. 1990)

### 6.2.3.2.3. Materiales con aglutinantes de fosfato:

Estos materiales consisten en un polvo que contiene sílice, óxido magnésico y fosfato amónico. Al mezclarlos con agua o una solución de sílice coloidal, se produce una reacción entre el fosfato y el óxido, formándose fosfato amónico magnésico: (McCabe J.F. 1990)

## Introducción al colado

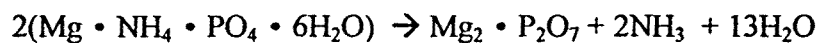
---



Esto aglutina la sílice formando el revestimiento fraguado del molde. La formación del fosfato amónico magnésico implica una reacción de hidratación seguido de una cristalización similar a la observada en la formación del yeso. Al igual que con el yeso, se produce una pequeña expansión por el empuje hacia fuera de los cristales en crecimiento. El material también puede sufrir expansión higroscópica si se coloca en contacto con humedad durante el fraguado. La humedad afecta adversamente al material no mezclado y el recipiente debe mantenerse herméticamente cerrado si no se utiliza.

El uso de una solución coloidal de sílice en vez de agua para mezclar con el polvo tiene el doble efecto de aumentar la expansión de fraguado y de fortalecer el material fraguado.

Al calentar el revestimiento antes del colado se produce un aumento del tamaño del molde por expansión térmica y por inversión de la sílice. La expansión térmica es mayor para los materiales mezclados con sílice coloidal que para los mezclados con agua. A temperaturas de unos 300 °C se libera amonio y agua por la reacción: (McCabe J.F. 1990)



### **6.2.3.3. Propiedades de los materiales de revestimiento:**

#### **6.2.3.3.1. Estabilidad térmica:**

Uno de los requisitos esenciales de un revestimiento es que debe mantener su

## **Introducción al colado**

---

integridad a temperatura de colado y tener la suficiente resistencia para aguantar las tensiones que se crean cuando la aleación penetra en el molde de revestimiento. (Morey E.F. 1995)

Los aglutinantes de yeso se descomponen por encima de 1.200 °C. Esto no sólo produce un grave debilitamiento del revestimiento sino que puede provocar la incorporación de porosidades en colado. En consecuencia, los materiales con aglutinantes de yeso suelen restringirse a las aleaciones que cuelan por debajo de esa temperatura. Esto incluye la mayoría de las aleaciones de oro y algunas de metales no nobles de baja fusión. La mayoría de las aleaciones de metales no nobles tienen temperatura de colado mayores y requieren el uso de materiales con aglutinantes de sílice o de fosfato.

Otra reacción que puede tener lugar al calentar revestimientos con aglutinantes de yeso es la que se produce entre el sulfato cálcico y el carbono. El carbono puede derivar del residuo que queda después de quemar el patrón de cera o puede estar presente como grafito en el revestimiento. Son posibles reacciones posteriores liberando dióxido de sulfuro. Estas reacciones se producen por encima de los 700 °C y sus efectos pueden minimizarse “empapando al calor” el revestimiento del molde a temperatura de colado para permitir que la reacción quede completada antes de comenzar el colado.

Los materiales con aglutinante de fosfato y de sílice tienen suficiente resistencia a las temperaturas elevadas utilizadas para colar aleaciones de metales no nobles. La resistencia de los materiales con aglutinantes de fosfato es ayudada por la formación de silicofosfatos al calentarlos. (McCabe J.F. 1990)

La resistencia cohesiva de los revestimientos de fosfato es tal que no deben contenerse en un cubilete de colado metálico. Por lo general, se deja que el material fragüe en un cilindro de plástico que se retira antes de calentar. (McCabe J.F. 1990)

### **6.2.3.3.2. Porosidad:**

Los materiales con aglutinantes de yeso y de fosfato son lo bastante porosos para permitir el escape de aire y de otros gases del molde durante el colado. Los materiales con aglutinante de sílice, por otra parte, están tan compactados que se consideran virtualmente libres de porosidades, y existe el riesgo de retroceso de presión que producirá un llenado incompleto del molde o un colado poroso. Este problema puede salvarse creando orificios en el revestimiento que eviten el aumento de presión. (McCabe J.F. 1990)

### **6.2.3.3.3. Expansión de compensación:**

La precisión de ajuste de un colado depende ante todo de la capacidad del material de revestimiento para compensar la contracción de la aleación que se produce al colar. La magnitud de la contracción varía entre márgenes muy amplios, pero suele ser del 1.4% para la mayor parte de aleaciones de oro, del 2% para las aleaciones de Cr/Ni y del 2.3% para las aleaciones de Cr/Co.

Se consigue una expansión de compensación mediante la combinación de la expansión de fraguado, expansión térmica y la expansión que se produce cuando la sílice sufre la inversión a temperaturas elevadas.

Puede utilizarse la expansión higroscópica para complementar la expansión de fraguado de materiales con aglutinante de yeso. Esto también es posible en los materiales con aglutinante de fosfato, pero en la práctica rara vez se utiliza con estos productos.

La expansión de fraguado de un material con aglutinante de yeso típico es del orden del 0.3%, que puede aumentarse hasta alrededor de un 1.3% por la expansión higroscópica. (McCabe J.F. 1990)



## Introducción al colado

El grado de expansión térmica depende de la naturaleza de la sílice refractaria utilizada en el revestimiento y de la temperatura a que se calienta el molde. Los revestimientos que contienen cristobalita sufren una mayor expansión térmica que los que contienen cuarzo. Si se ha utilizado la expansión higroscópica para conseguir la expansión, es probable que la magnitud de la expansión térmica requerida sea relativamente pequeña. Si se utiliza la expansión térmica como principal modo de conseguir la compensación, se requerirá un revestimiento que contenga cristobalita calentado a unos 700 °C.

Los revestimientos con aglutinante de sílice sufren una ligera contracción durante el fraguado y las fases iniciales del calentamiento. Esto se debe a la naturaleza de la reacción de fraguado y la consiguiente pérdida de agua y alcohol del material. Un calentamiento continuado produce una considerable expansión debido a la naturaleza compacta de las partículas de sílice. Una expansión lineal máxima del 1.6% se alcanza a una temperatura de unos 600 °C.

Por lo que se refiere a los materiales con aglutinantes de fosfato, una expansión de fraguado y una expansión térmica aproximada del 2% es normal, siempre que se utilice con el revestimiento un líquido de sílice. (McCabe J.F. 1990)

Puede observarse que mientras los revestimientos con aglutinante de yeso compensan correctamente la contracción de colado de las aleaciones de oro, no puede decirse lo mismo de los revestimientos con aglutinante de sílice y de fosfato cuando se utilizan con algunas aleaciones metálicas no nobles. Parece que la gran contracción de colado de las aleaciones metálicas no nobles puede ser un problema difícil de vencer con los revestimientos disponibles en la actualidad. (McCabe J.F. 1990)

### 6.2.4. Combustión de la cera:

El procedimiento de eliminación del patrón de cera de dentro del revestimiento se denomina “quemar la cera”. Consiste en colocar el cilindro de revestimiento en un horno durante un tiempo y a una temperatura determinadas para cada tipo de revestimiento, de tal forma que se produzca la volatilización de la cera incluida en el cilindro. (McCabe J.F. 1990)

El proceso de quemado no debe iniciarse antes de que el revestimiento haya fraguado al menos 30 minutos, siendo preferible 40-60 minutos. Pero si hay que retrasar el proceso de quemado unas horas es aconsejable colocar el cilindro en un humidificador para evitar la desecación. (Rhoads J.E. 1988)

La temperatura a la que se calienta el molde de revestimiento durante el “quemado” merece especial atención, dado que controla la expansión térmica del revestimiento. El horno debe estar precalentado a 400 °C y la temperatura la iremos subiendo lentamente hasta la temperatura requerida. (Rhoads J.E. 1988) En aleaciones de oro suele utilizarse un quemado lento a 400 °C, o un quemado más rápido a 700 °C, con revestimientos con aglutinante de yeso. Para aleaciones de Cr/Ni, lo normal son unos márgenes de temperatura de 700-900 °C, mientras que para aleaciones de Cr/Co la temperatura típica de colado es de 1000 °C. (McCabe J.F. 1990)

En todos los casos es de importancia fundamental que no queden residuos en el interior del revestimiento, ya que nos podrían contaminar el colado o podríamos obtener un colado imperfecto.

### 6.2.5. Crisoles:

El crisol es donde se aloja la aleación antes y durante el proceso de fusión. Por lo general se dispone de tres tipos de crisoles para vaciado: de barro, carbón y cuarzo (que incluye circonio-

aluminio)

Los crisoles de barro son apropiados para muchas aleaciones en coronas y puentes ( por ejemplo aleaciones a base de oro y algunas de plata-paladio). Los crisoles de carbón se utilizan no sólo en aleaciones para coronas y puentes a base de oro, sino también para aleaciones de metal cerámico a base de oro de alta fusión.

... Los crisoles de cuarzo se recomiendan en aleaciones de alta fusión de cualquier tipo. Se adaptan en especial para las que tienen un punto alto y son sensibles a la contaminación con carbón. En esta categoría se encuentran las aleaciones para coronas i puentes de paladio, además de todas las aleaciones a base de níquel o cobalto. (Phillips R.W. 1993)

### 6.2.6. Fundido de la aleación y colado:

Cuando fundimos una aleación con soplete se usa una mezcla de gas natural o artificial y aire, aunque también se utiliza oxígeno-aire y acetileno. En la temperatura de la llama de gas-aire influye la del gas y las proporciones de gas-aire de la mezcla. Se ha de tener cuidado considerable par obtener una llama en forma de pincel no luminoso, con zonas diferentes de combustión bien diferenciadas. Es posible obtener dos tipos de llama con un soplete para colado. Si el suministro de aire para la llama es excesivo se produce una combustión incompleta y una temperatura inferior.

Se identifican diferentes partes de la llama por las áreas cónicas que presenta. El primer cono largo que mana directamente de la boquilla es la zona en la cual se mezcla el aire y el gas antes de la combustión. No hay calor presente en esa zona. El siguiente cono, que es verde y rodea el cono interno, se llama zona de combustión. Aquí, el gas y el aire están en combustión parcial; ésta es oxidante y se debe mantener lejos del metal durante la fusión. (Phillips R.W. 1993)

## Introducción al colado

La siguiente zona, azul oscuro, es la zona de reducción. Es la parte más caliente de la llama y esta encima de la punta de la zona verde de combustión. Esta área se tiene que mantener constantemente en el metal durante la fusión. El cono externo (zona de oxidación) es el área en la que se presenta la combustión con el oxígeno en el aire. En ninguna circunstancia debe emplearse esta zona para el fundido de la aleación, no sólo por su temperatura más baja, sino que también oxida el metal.

Existen otras formas de fundir una aleación. Estos sistemas están incluidos en máquinas diseñadas para fundir el metal y para conseguir que este metal fundido entre en el espacio que hemos creado en el revestimiento, las de vapor, las de presión de aire y las centrífugas. (Phillips R.W. 1993)

En las de vapor se funde la aleación con un soplete en un crisol y se aplica el brazo de colado sobre él. Se mantiene en posición durante 30 segundos, con lo que conseguiremos que se produzca vapor en la cavidad. La presión creada por este vapor hará que el metal fundido entre en el revestimiento.

En las de presión de aire se funde la aleación con un soplete en el espacio que deja la peana del encerado o botón, en el cilindro de colado. La alta tensión de la aleación fundida impide que caiga en el canal del bebedero. Una vez que el metal se funde a temperatura de colado, se aplica a un pistón metálico que se encuentra encima del cilindro una presión por aire comprimido que hará que el pistón baje violentamente y así fuerza al metal a entrar por el bebedero. (Phillips R.W. 1993)

Una centrífuga está formada por dos brazos que se unen en un eje central. Uno de los brazos contiene el crisol y el cilindro, y el otro un peso que dará inercia al primero para coger un movimiento de alta velocidad que hará entrar el metal fundido con el soplete en el cilindro.

Otro tipo de máquina para colado es la máquina inductora, en la que el metal se funde

## Introducción al colado

---

con electricidad en un horno de resistencia o de inducción y no con el uso del soplete y después se hace que el metal entre en el revestimiento por el método de centrífuga. Este método presenta ventajas en especial en ciertas aleaciones que se utilizan en restauraciones de metal cerámico formadas de manera delicada con metales que tienden a oxidarse con el sobrecalentamiento. (Phillips R.W. 1993)

Existe un último tipo de máquina para colado en la que el fundido de la aleación se realiza por medio de resistencia eléctrica o por inducción pero el mecanismo para introducir el metal fundido en el cilindro es por medio de presión de aire, vacío o los dos a la vez. Este último método es muy usado en joyería pero no en técnicas dentales. (Phillips R.W. 1993)

### 6.2.7. Terminado del colado:

El colado se extrae del revestimiento. Se retiran los restos de revestimiento y óxidos que quedan en superficie y se corta el bebedero. Se pulen las irregularidades y se adapta al troquel de yeso.

El primer paso es eliminar cuidadosamente de la superficie todo el recubrimiento residual que queda sobre el colado una vez hemos pasado el revestimiento por el vibrador. El chorro abrasivo es eficaz aunque no debe proyectarse intensamente sobre las finas regiones de los márgenes. Si la aleación es preciosa puede sumergirse en un baño ácido siguiendo las instrucciones del fabricante, no las no-preciosas debido a su alta reactividad. Si hay películas grasas se eliminan con amoníaco y seguidamente se aclaran con agua destilada. Los pequeños nódulos y óxidos depositados en superficie los eliminaremos con fresas de carburo y piedras. Para finalizar lo limpiaremos con agua destilada en un baño ultrasónico. (Rhoads J.E. 1988)

### 6.3. Microestructura de colado:

#### 6.3.1. Proceso de solidificación:

Básicamente la estructura de un colado puede ser dividida en tres zonas: la zona de enfriamiento rápido que está cercana a la pared del molde, la zona columnar con granos elongados y la zona central o equiaxial. (Figura 21). (Prado J.M. 1987, Ashby M.F. 1990)

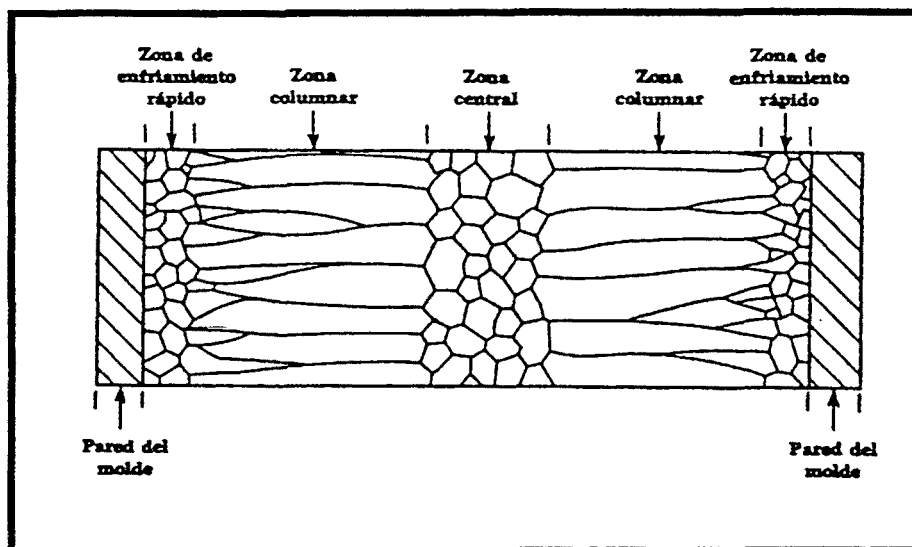


Figura 21: Sección transversal de un colado mostrando las tres zonas básicas. (Ashby M.F. 1990)

#### 6.3.1.1. Zona de enfriamiento rápido:

Cuando la primera parte de la aleación fundida entra en el modelo de revestimiento y entra en contacto con las paredes de este, se enfría rápidamente por debajo de la temperatura de líquido, resultando de ello la formación de una gran cantidad de núcleos sobre la pared del molde, los cuales empiezan a crecer dentro del líquido. (Craig R.G. 1992) Durante la introducción de la aleación fundida la pared del molde de revestimiento se calienta, con lo que la unión entre el cristal y la pared se debilita, y algunos de los cristales solidificados se

despegan ayudados por las turbulencias que produce la entrada en masa de la aleación fundida. (Prado J.M. 1987, Ashby M.F. 1990)

Si la temperatura de colado es suficientemente alta, el material fundido está a alta temperatura durante mucho tiempo y los cristales sólidos que se han despegado y se han introducido en la aleación fundida se refunden de nuevo, de forma que los únicos cristales de enfriamiento rápido son los que se encuentran pegados a la pared del revestimiento. (Prado J.M. 1987, Ashby M.F. 1990)

Si la temperatura de colado es baja, ocurre un “big-bang” de nucleaciones. Ello significa que el líquido se rellena de multitud de cristales sólidos. Esos cristales son asimilados en la zona fundida, pero como la temperatura del líquido es menor, los cristales pueden seguir creciendo, resultando una estructura granular fina, compuesta de granos equiaxiales, sin zona columnar. (Prado J.M. 1987, Ashby M.F. 1990)

### 6.3.1.2. Zona columnar:

Inmediatamente después de empezar la introducción de la aleación metálica en el molde de revestimiento el gradiente de temperatura de la aleación decrece y los cristales crecerán dendriticamente en ciertas direcciones cristalográficas. La cristalización progresa hacia la parte central de la masa. (Craig R.G. 1992) Los cristales con direcciones cercanas al flujo de calor, perpendicular a la pared, crecen más rápido, y eliminan el crecimiento de los granos orientados menos favorablemente. (Figura 22)

Debido al decrecimiento de la temperatura, el espacio existente entre las dendritas primarias y secundarias aumenta cuanto más alejados nos hallamos de la pared del modelo. (Prado J.M. 1987, Ashby M.F. 1990)

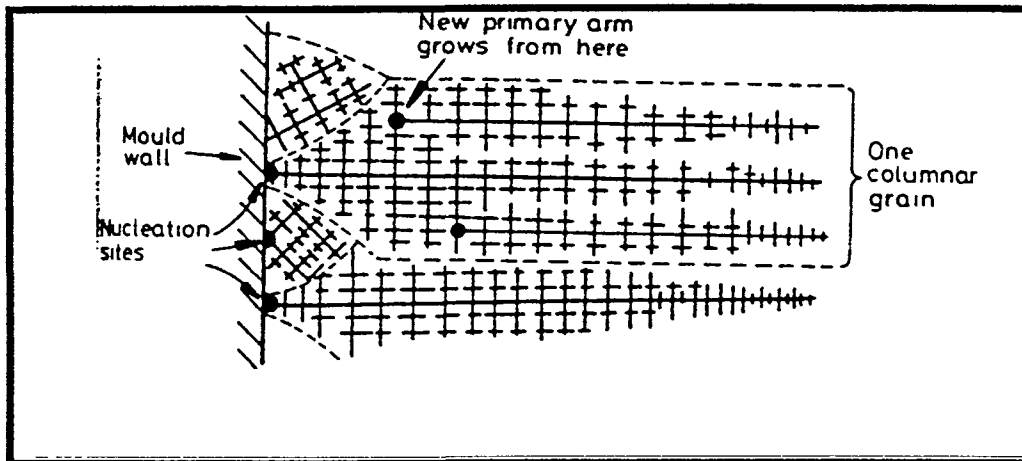


Figura 22: Dendritas, en zona columnar, orientadas favorablemente. (Ashby M.F. 1990)

### 6.3.1.3. Zona central o equiaxial:

La mayoría de estos granos se forman a partir de brazos de dendritas refundidos. Las corrientes de convección que se forman en el interior del líquido causan pulsos de aleación a diferentes temperaturas. Si un pulso toca una dendrita ya formada puede empezar a fundirla de nuevo y esta se despegue de su localización anterior. Si un pulso de menor temperatura llega a la dendrita despegada antes de su fusión total, ella puede actuar como núcleo de cristalización para una nueva dendrita. De esta manera los granos tienen la oportunidad de crecer desde unos pocos centros distribuidos en toda la masa fundida. (Craig R.G. 1992) La corriente puede transportar este núcleo a allí donde pueda desarrollar una nueva dendrita. (Prado J.M. 1987, Ashby M.F. 1990)

Por eso se entiende que las corrientes de convección juegan un papel importante. Si la convección es pobre, el tamaño final de grano es grande y hay preponderancia de granos columnares. (Prado J.M. 1987, Ashby M.F. 1990)



### 6.3.2. Efectos del rechupe:

Debido a la diferencia de volumen entre la fase líquida y la sólida, muchos metales rechupan al solidificarse. Este rechupe puede tomar la forma de una cavidad, en general en los límites de grano, no teniendo una forma esférica como los poros, sino de forma irregular, lo cual se manifiesta como una porosidad. (Prado J.M. 1987, Ashby M.F. 1990)

## **7. ALTERACIONES EN EL COLADO.**



## **7. ALTERACIONES EN EL COLADO.**

### **7.1. Introducción:**

Existen diversos motivos por los que un colado puede salir defectuoso. Entre ellos, la responsable de muchos fracasos en el proceso de colado, es la temperatura a la que se encuentra el metal fundido cuando lo inyectamos en el cilindro, así como el calentamiento erróneo del cilindro, mala colocación de los bebederos, incorrecta selección del revestimiento, la composición de la aleación, su densidad, su tensión superficial, si usamos metal nuevo o usado anteriormente y el uso de diferentes máquinas para colar. (Sato Y. 1993, Johnson A. 1996)

### **7.2. Efecto de la propia aleación:**

Johnson y colaboradores hallaron que las aleaciones de paladio tenían más facilidad para rellenar un molde de diseño intrincado (una red) que las aleaciones de cromo-níquel, y estas, a su vez, superiores a las de oro. (Johnson A. 1996) Comparando aleaciones de composición similar entre ellas, Cohen y colaboradores hallaron que entre las aleaciones de paladio, a más porcentaje de paladio en su composición, mayor la colabilidad presentaban. (Cohen S.M. 1996)

### **7.3. Efecto de la colocación de los bebederos:**

Unos bebederos de sección insuficiente no permitirán el flujo adecuado de aleación fundida ya que en el momento en que la aleación empieza a enfriarse, las zonas más delgadas

## Alteraciones en el colado

son las primeras en solidificar, con lo que arrastran material fundido de las zonas que aún están calientes. A menos que entre más metal fundido, quedarán zonas incompletas llamadas canales o huecos secundarios. Si el metal del bebedero se enfría antes que el de la corona, impidiendo así que entre más metal en el molde, el colado quedará incompleto o se producirá la denominada porosidad interna o porosidad por contracción. Si los bebederos son de suficiente grosor, existen unos depósitos de metal fundido. Un método para engrosar los bebederos, consiste en engrosar su sección en la zona más próxima al colado, son los “depósitos redondos”, o en encerar un “volante”. Estas estructuras serán las últimas en enfriarse y los errores quedarán en ellas. (Rhoads J.E. 1988)

Johnson y colaboradores hallaron que para una misma aleación si usábamos bebederos de 4 mm de diámetro, la capacidad de una aleación de rellenar un molde (en este caso una red) era superior que si usábamos bebederos de 2.5 mm. (Johnson A. 1996)

Así mismo si el número de bebederos es excesivo tendremos más trabajo en el acabado del colado, necesitaremos más peso de aleación, con lo que el proceso de fundición será más dificultoso y la zona de unión de los bebederos con el colado es una zona en la que el número de defectos es mayor que en cualquier otra, con lo cual también deberemos evitarlo. (McCabe J.F. 1990) Así mismo otro estudio asegura que si el número de bebederos es excesivo existirán diversos flujos de entrada de material fundido, lo que causará que unos molesten a los otros y la aleación no penetrará fluidamente hasta todos los recovecos del molde. Así mismo al aumentar su número se tiende a disminuir su tamaño, con lo que ocurre lo citado en párrafos anteriores. (Satoh Y. 1994)

Otro de los motivos sugeridos para explicar posibles colados incompletos debido al menor diámetro de bebederos consiste en que al entrar menos cantidad de metal fundido, la inercia que lleva este es menor y a causa de esto no puede llegar tan lejos en su trayecto. (Satoh Y. 1994)

Si los bebederos no son de una longitud adecuada (cortos), sucederá que el patrón de

cera quedará muy alejado del extremo abierto del cilindro, con lo que el espesor de revestimiento es mayor; puede producirse porosidad por presión de retorno, al no permitir que los gases escapen a través de él, atraparlos en el molde y no permitir que la aleación rellene todo el espacio. (Rhoads J.E. 1988)

### **7.4. Efecto de las características del revestimiento:**

Se debe tener un control total sobre las expansiones del revestimiento, ya que cualquier error en su manipulación acarrearán un colado defectuoso dimensionalmente. Las expansiones del fraguado e higroscópica del revestimiento producen un movimiento irregular de las paredes del patrón de cera. (Phillips R.W. 1993)

Este tipo de distorsión se produce en parte por el movimiento de las paredes proximales hacia afuera, en forma irregular, en una restauración de tres superficies. Los márgenes gingivales se separan por la expansión del molde mientras la barra oclusal de cera resiste la expansión durante los primeros periodos de fraguado. Como es de esperar, a menor expansión de fraguado menor distorsión. (Phillips R.W. 1993)

Puede que una mala selección o utilización del revestimiento cree presión retrógrada, por la incapacidad del aire o de otros gases del interior del molde para escapar, buscando camino a través de la aleación. Para ayudar al escape de gases, el material de revestimiento entre el colado y el extremo del cilindro debe ser lo más delgado posible sin perder resistencia. Así mismo, el extremo del cilindro no debe estar cubierto totalmente por ninguna parte del aparato de colado. En todo caso la placa de metal que sostiene el extremo del cilindro debe estar perforada. (McCabe J.F. 1990)

La permeabilidad de los revestimientos varía con la distribución de tamaño de las partículas, pero por lo general disminuye en el orden de enlace de yeso, fosfato y sílice. En la base del cilindro suele crearse una capa densa de material de revestimiento. Esta capa densa

deber retirarse para facilitar el escape de gases. Se utilizan revestimientos con aglutinante de sílice o de fosfato de grano fino, debe dejarse un orificio de 0.5 mm para que los gases escapen correctamente. (McCabe J.F. 1990)

Un colado sometido a presión retrógrada carece de detalles y tiene los bordes redondeados. (McCabe J.F. 1990)

Así mismo debe evitarse el atrapamiento de aire en el revestimiento, con lo que se recomienda la técnica de mezclado al vacío y vibración. Si no eliminamos estas burbujas, crearán nódulos pequeños. (Phillips R.W. 1993) Aunque diversos estudios no han hallado diferencias significativas entre vaciarlo al vacío o vaciarla a presión ambiental y someterlo a presión (0,275 MPa). (Johnson A. 1996)

También se pueden atrapar burbujas de aire alrededor del patrón de cera al rellenar el cilindro de colado con el revestimiento. Par evitar esta vicisitud es útil usar un producto humectante de la superficie de la cera, aplicando una capa delgada y secándolo con aire para evitar la acumulación de él, ya que nos produciría irregularidades de superficie del colado. (Phillips R.W. 1993, Rhoads J.E. 1988)

### **7.5. Efecto del calentamiento del cilindro:**

Otra de las posibles causas de errores en el colado puede venir del mal calentamiento del cilindro de revestimiento. Si este calentamiento se efectúa demasiado rápido, el revestimiento se agrieta. La aleación fundida fluye hacia las grietas formando finas aletas sobre el colado en las zonas donde estaban ubicadas las grietas. (Rhoads J.E. 1988, McCabe J.F. 1990)

Si la temperatura es correcta pero el tiempo demasiado prolongado puede ocurrir que se desintegre el revestimiento, especialmente los de yeso, con lo que las paredes del colado

quedarán rugosas. (Rhoads J.E. 1988, Phillips R.W. 1993)

Calentar insuficientemente el cilindro puede producir una eliminación incompleta del encerado. El colado presentará burbujas o porosidades por los gases que se formarán cuando la aleación caliente entre en contacto con los residuos carbonáceos. (Rhoads J.E. 1988, Phillips R.W. 1993) Así mismo, el infracalentamiento del cilindro producirá que la aleación se enfríe más rápido y no podrá llegar a todas las zonas del molde. (Sato Y. 1993)

Algunos autores abogan que si se sobrecalienta el cilindro 100 °C por encima de lo recomendado, podemos favorecer la capacidad de la aleación para rellenar el molde. (Johnson A. 1996, Cohen S.M. 1996)

Una mala selección de la temperatura de calentamiento no permitirá una expansión térmica correcta y el colado será erróneo dimensionalmente. (McCabe J.F. 1990)

### 7.6. Efecto de la temperatura de colado:

Estos errores en seleccionar la temperatura a la que inyectamos el metal son mayores si se utiliza el método de fundición por soplete que si usamos una inductora. (Metalor)

En el caso de usar una llama de soplete hay diversos conceptos que debemos tener muy claros:

1) Se precisa de una llama amplia para poder transmitir adecuadamente el calor necesario al metal. (Metalor)

2) Hemos de aplicar sobre el metal la zona correcta de la llama. El aspecto de la superficie del metal que se está fundiendo, indica claramente la parte de la llama que se está utilizando, es decir la correcta mezcla de gas y aire. (Metalor)



## Alteraciones en el colado

Si se observa una película que cubre el metal, es que se está oxidando la aleación. Esto ocurre cuando la zona de la llama que estamos usando es la zona en la que hay un exceso de oxígeno para la cantidad de gas presente. Al oxidarse la aleación aumenta su temperatura de fusión con lo que llegamos a una situación en la que no es posible la fusión total. Cuando un metal oxidado empieza a solidificar libera el oxígeno disuelto, con lo que el colado nos quedará poroso. Son unas pequeñas depresiones que se denominan "Porosidades por oclusión de gas". Estas porosidades aumentan la superficie real del metal y actúan como receptáculos para fluidos orales, con lo que aumentan la posible corrosión de la aleación y disminuyen su resistencia. **(Metalor)**

Si la superficie del metal es brillante ("aspecto de espejo") estamos usando la zona correcta de la llama, la zona reductora. Esta es la zona en la que la cantidad de gas es mayor que la que el oxígeno presente puede combustionar. **(Metalor)**

En el caso de usar una inductora:

No son adecuadas para Oro-platinado ya que se produce un sobrecalentamiento. Existen máquinas con crisoles especiales. **(Metalor)**

Vamos a hablar de la temperatura de fusión en sí. Ésta se define como la temperatura ideal del metal para colarlo. Es 50° C más que el estado líquido de la aleación. Visualmente el proceso empieza al fundirse la aleación, si mantenemos la fuente de calor 3 o 4 segundos más observaremos que el metal tiende a tomar una forma esférica, lo que indica que hemos llegado a la temperatura ideal de colado. **(Metalor)**

Por un exceso de calor en el metal fundido encontramos: crecimiento del sistema cristalino, segregación intercrystalina, mayor concentración volumétrica, tensiones internas en el colado. Las superficies de los colados quedan con aspecto áspero. Con frecuencia a simple vista se aprecian los cristales de la estructura. Como la contracción es mayor los márgenes son incompletos o ligeramente redondeados o ásperos. Las porosidades son muy

grandes y profundas pero localizadas en superficie. (Phillips R.W. 1993)

Así mismo diversos autores han observado que al aumentar la temperatura de colado de una aleación, mejora su colabilidad, es decir la facilidad de la aleación para llegar a todos los recovecos del molde. Estos autores hallaron que tanto con aleaciones de oro como en las de Cr-Ni la colabilidad aumentaba linealmente con la temperatura, aún en estadios superiores en 30 °C a la temperatura recomendada por el fabricante. (Herō H. 1991) Otros estudios realizados con aleaciones de base paladio, oro y Cr-Ni llegaron a la misma conclusión sobrecalentando las aleaciones 100 °C por encima de temperatura recomendada. (Johnson A. 1996) Cohen y colaboradores llegan a la conclusión de que usando aleaciones de paladio a más temperatura mejora la colabilidad, pero no hallan que sobrecalentarla por encima de la temperatura que recomienda el fabricante la mejore. (Cohen S.M. 1996)

Satoh sugiere que ello es debido a que al disminuir la temperatura de la aleación aumenta su viscosidad, con lo que aumenta la dificultad para rellenar espacios reducidos. (Satoh Y. 1993)

La falta de calor en el metal fundido se manifiesta con colados incompletos o bordes redondeados o lisos. (Metalor) Esto ocurre dado que si la aleación no ha sido fundida correctamente la solidificación se presenta antes de que le molde se rellene. (McCabe J.F. 1990)

### **7.7. Efecto de la máquina de colar:**

En el estudio antes citado de Johnson se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre el uso de diferentes máquinas de colar (centrífugas inductoras, máquinas de vacío con fundido por resistencia eléctrica, centrífugas con soplete). Las inductoras y las de resistencia eléctrica conseguían una mayor penetración del colado en el molde. (Johnson A. 1996)



## **8. OBJETIVOS.**



## **8. OBJETIVOS.**

Los objetivos que nos hemos propuesto en este estudio son:

1. Hacer una descripción del tipo de grano presente en cada una de las aleaciones estudiadas.
2. Ver si las aleaciones estudiadas son monofásicas o multifásicas.
3. Evaluar la variación del tamaño de grano de las aleaciones testadas a diferentes temperaturas de colado.
4. Evaluar el crecimiento de grano de cada una de las aleaciones sometidas a tratamiento térmico.
5. Evaluar el cambio de dureza de las aleaciones cuando se han colado a diferentes temperaturas.
6. Evaluar el cambio de dureza de las aleaciones cuando se han sometido a tratamiento térmico.
7. Evaluar el cambio en la resistencia al desgaste por abrasión de las aleaciones cuando han estado coladas a diferentes temperaturas.
8. Evaluar el cambio en la resistencia a la corrosión de las aleaciones estudiadas cuando han sido coladas a temperaturas diferentes.
9. Buscar la influencia general de la temperatura de colado de las aleaciones estudiadas en su aplicación a la odontología.



**9. MATERIAL Y MÉTODO:  
PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.**





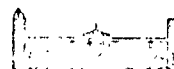
## 9. MATERIAL Y MÉTODO: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.

En este estudio se han usado tres diferentes aleaciones para uso dental disponibles comercialmente, una de base de oro tipo IV, Pontor 4CF, una de base de paladio, Cerapall 6 (ambas fabricadas por Falor-Metalor) y una de cromo-níquel, Nibon (fabricada por Madespa-Ventura). Su composición se puede ver en la tabla 4.

Para este estudio usamos estas aleaciones debido a que nos basamos en las conclusiones obtenidas por López, quien en su tesis doctoral sometió a múltiples aleaciones a un circuito dinámico de saliva artificial e hizo recuento de los iones que desprendían las aleaciones testadas. Las aleaciones estudiadas por López estaban agrupadas en tres grandes grupos; aleaciones de base oro, de base paladio y de cromo-níquel, al ser las más usadas en nuestro ámbito. Los resultados a los que López llega demuestran que de los respectivos grupos, las aleaciones que menos se corroían eran Cerapall 6, Pontor 4CF y Nibon. (López F.J. 1992)

	Au	Pd	Ag	In	Ga	Sn.Zn	Ni	Cr	Al	Mo	Si	Fe
Cerapall 6	6.1	75.0	6.4	5.9	6.0	<1	-	-	-	-	-	-
Pontor 4CF	65.1	10.0	18.9	4.0	-	<2	-	-	-	-	-	-
Nibon	-	-	-	-	-	-	76.5	14.3	5.6	2.34	0.75	0.5

Tabla 4: Composición química en porcentaje de peso de las aleaciones estudiadas. Datos del fabricante.



Algunas de las propiedades más importantes se muestran en la tabla 5.

Aleación	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de fusión (°C)	Temp. de colado recomendada	Dureza Vickers	Mód. Elasticidad (Gpa)
Cerapall 6	11.55	1150-1320	1320	240	115
Pontor 4CF	14.70	960-1060	1060	160	108
Nibon	8.10	1420-1440	1480	230	205

Tabla 5: Datos importantes de las aleaciones a estudiar. Datos del fabricante.

Para la elaboración de las muestras se enceraron unas estructuras de 14 láminas de dimensiones 0.3\*10\*40 mm como se puede ver en la figura 23. Se confeccionaron tres encerados para Cerapall 6 y Pontor 4CF y cuatro para Nibon. Se revistieron con yeso para revestimiento Silicast 2000. Se precalentaron los cilindros en un horno de la siguiente forma: primero se calentaron a 250° C durante 20 minutos, se elevó la temperatura del horno a 470° C y se mantuvo estabilizado a esta temperatura durante 20 minutos más, volviéndose a elevar la temperatura a 810 grados manteniéndose estabilizado a esa temperatura 44 minutos, para conseguir la volatilización de la cera. Se procedió a colar los cilindros en una máquina inductora MIE 200 Automática de Ordenta con pirómetro calibrado.

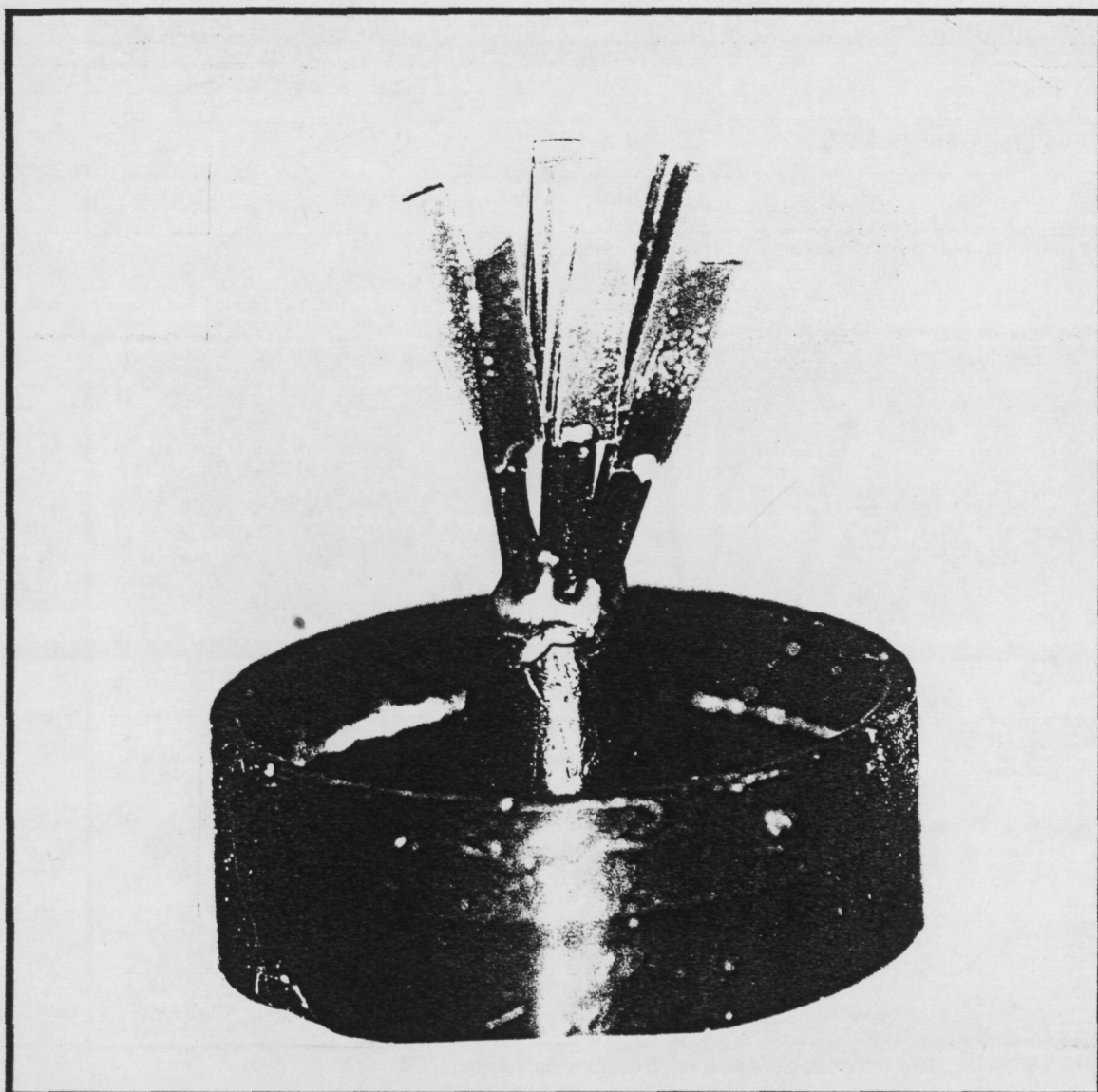


Figura 23: Encerado de las muestras. Se realizaron un total de 10 encerados.

Las muestras se colaron a diferentes temperaturas. Cerapall 6 a 1260, 1320 y 1420 °C, Pontor 4CF a 1000, 1060 y 1160. Nibon fue colado a 1300, 1420, 1480 y 1580. (Tabla 6)

Se usaron estas temperaturas dado que en todos los casos se colaron a la temperatura recomendada por el fabricante, a 100°C por encima de esta temperatura y 60°C por debajo de ella, ya que se consideró que estas son las diferencias de temperatura que se pueden producir en un laboratorio dental. En el caso del Nibon se realizó otro colado a 1300 °C dado que era una temperatura en la que visualmente un técnico dental experimentado la habría colado.

Aleación	-60 °C	T <sup>a</sup> recomendada	+100 °C	Otras
Pontor 4CF	1000	1060	1160	
Cerapall 6	1260	1320	1420	
Níbon	1420	1480	1580	1300

Tabla 6: Temperaturas de colado de las diferentes aleaciones en este estudio.

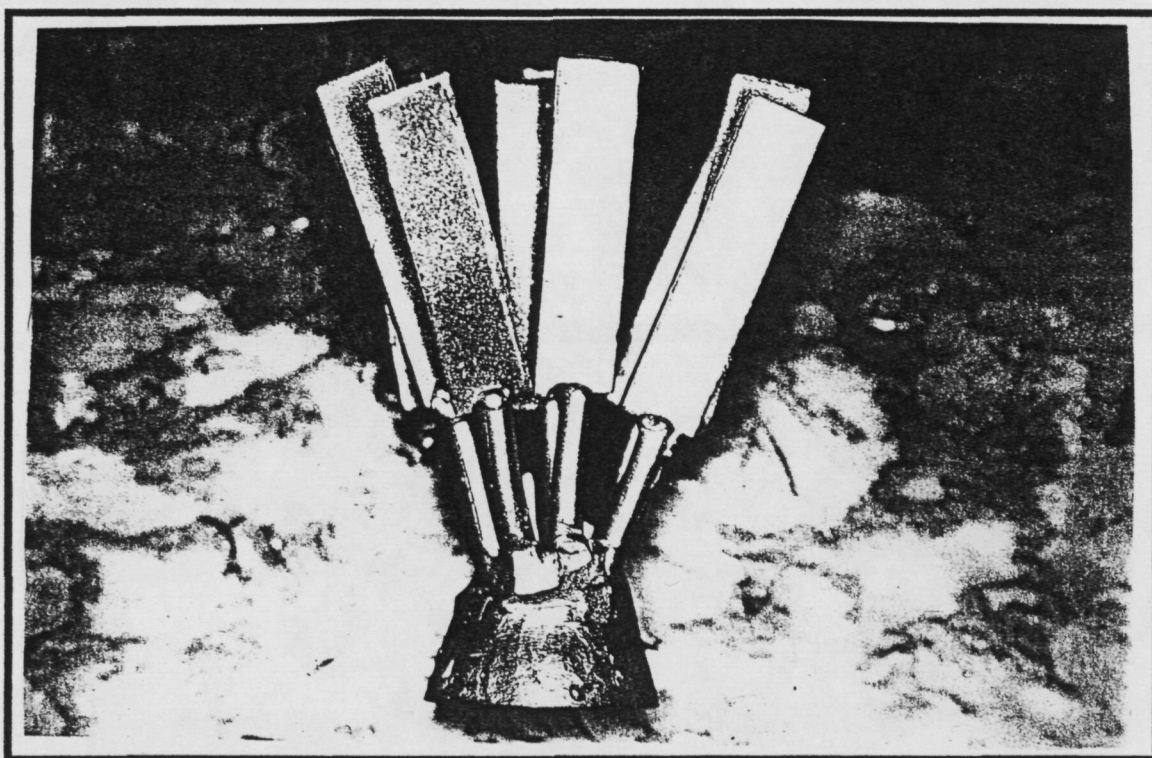


Figura 24: Aspecto de los colados una vez extraídos del revestimiento.

Una vez realizados los colados se esperó a que enfriaran los cilindros y se sacó el colado del revestimiento mediante martillo percutor y arenado. (Figura 24)

Posteriormente las muestras fueron pulidas con alúmina disuelta en agua. El tamaño mínimo de partícula usado fue de 0,05 micrómetros. Incluso con este tamaño tan pequeño de partículas las porosidades no se pudieron eliminar totalmente de la superficie del Pontor 4CF. Finalmente, para eliminar las grasas y las partículas adheridas a la superficie se colocaron las muestras en un recipiente que contenía acetona y se les sometió a ultrasonidos durante 20 minutos. Después las muestras fueron lavadas con agua destilada y secadas con aire caliente.