

**MATERIALES  
TECNICAS Y PROCESOS  
EN ORFEBRERIA**

57

**INTRODUCCION**

Dentro del vasto campo de la tecnología, uno de los factores más importantes para el desarrollo y aplicación de técnicas y procesos, es el conocimiento de los materiales con los que se va a trabajar.

Sabido es que el oro es uno de los metales más conocidos por el hombre, desde el principio de los tiempos, símbolo de poderío económico en toda época y en la actualidad el respaldo económico

de los países. Una de las utilidades de este metal precioso ha sido la fabricación de joyas y la ornamentación de lugares representativos en las diferentes culturas, ejecutadas por grandes artesanos.

El presente trabajo enfoca el estudio de las aleaciones de oro para orfebrería y sus elementos aleantes, a los que se aplicaron técnicas y procesos, mediante los cuales, se estudiaron las propiedades y utilidades de estas aleaciones.

## CAPITULO I

### EL ORO Y SUS ALEACIONES

Para centrar el estudio de las aleaciones del oro es necesario tener un previo conocimiento de los elementos aleantes:

#### 1.1 Elementos Aleantes:

Oro	
Símbolo químico	Au
Peso atómico	197.2
Densidad	19.32 grms/cc
Conductividad eléctrica	76.7 (referente al mercurio)
Temperatura de fusión	1064.43°C(1)

#### Propiedades

Es el más dúctil y maleable de todos los metales pues se han conseguido hilos de 162 metros de 5/100 gms., siendo estas propiedades las que precisamente se aprovecharán en los trabajos de orfebrería; su estructura cristalina es cúbica, de caras centradas. (3)

#### Usos

El oro no se usa en estado puro, sino formando aleaciones; para la fabricación de joyas y re-

vestimiento de piezas en orfebrería se utiliza aleado con plata y cobre; con las diversas aleaciones se puede obtener una gama variada de propiedades especialmente coloración y anticorrosión. Otros usos del oro son en la fabricación de bombas de calor y soldaduras resistentes a la corrosión. (1)

Si bien el oro puro es resistente a los ácidos: nítrico, sulfúrico y clorhídrico y a varios otros ácidos corrosivos; el uso del oro puro, en la química por ejemplo, se ve limitado porque es atacado por halógenos, por la mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico, de ácido hidrobromhídrico e iodhídrico, y también por la mezcla caliente de ácido nítrico y sulfúrico. (1)

Estas consideraciones son de mucha importancia, pues se tomarán en cuenta para los ataques que se harán a las probetas en el análisis metalográfico.

#### Plata

Símbolo químico	Ag
Peso atómico	107.88
Densidad	10.49 gr./cc
Conductividad eléctrica	61-64
Temperatura de fusión	960.5°C (1)

### Propiedades

En estado sólido es muy blando y posee un perfecto brillo metálico. Es dúctil y maleable siendo superada sólo por el oro, ya que se pueden hacer láminas de 0.00025 mm. de espesor; con 0.1 gramos de plata se puede obtener un hilo de 180 metros de largo. (2)

La dureza de la plata es mayor que la del oro, pero menor que la del cobre.

### Usos

La plata ha sido usada por años en la producción de un sinnúmero de artículos químicos; por su gran conductividad calórica se usa en la fabricación de evaporadores. La plata, en aleación con el cobre y el níquel, ha tenido gran uso en la industria. (1)

En la joyería es muy utilizada en aleación con el oro y el cobre, o sólo con el cobre para la fabricación de alhajas y en platería.

La plata es resistente a muchos corrosivos pero se ataca fácilmente con el ácido nítrico y con el ácido sulfúrico concentrado. (1)

### Cobre

Símbolo químico	Cu
Peso atómico	63,54

Densidad 8.96 grm/cc

Conductividad eléctrica 58.5-60

Temperatura de fusión 1083°C(1)

### Propiedades

Es tenaz, muy dúctil y maleable, la tenacidad aumenta con la densidad.

En cuanto a la ductilidad y maleabilidad les sigue al oro y a la plata, ya que se puede extender en láminas de 0.0026 mm. y obtener hilos finísimos.

Sólo el hierro le supera en resistencia y sus propiedades de buen conductor del calor y la electricidad han hecho que este metal tenga una gran importancia industrial.(2)

Es resistente a la oxidación a temperatura ambiente, pero es atacado por los ácidos: clorhídrico, nítrico y sulfúrico en presencia de oxígeno.(1)

## 1.2 Estudio de las aleaciones del oro

### Definición

Una aleación es una sustancia compuesta por dos o más elementos químicos, de los cuales uno por lo menos es metal.

Este estudio se referirá a las

aleaciones binarias (oro-cobre), (oro-plata) y a la ternaria (oro-cobre-plata).

### Clasificación

Las aleaciones binarias que se estudiarán, son aleaciones homogéneas (formadas por una sola fase) en el estado sólido, es decir que son soluciones sólidas.

### Soluciones Sólidas

Toda solución está formada por un soluto y un solvente. El soluto o materia que se disuelve, es el cuerpo que interviene en la solución en menor cantidad, mientras que el solvente constituye la fracción más importante de la solución.

Las soluciones sólidas son soluciones en estado sólido y están formadas por átomos de dos clases combinados en una misma red espacial.(4)

Las soluciones sólidas que nos interesan son las soluciones sólidas por sustitución, porque pertenecen a este grupo nuestras aleaciones binarias.(4) “Estas se deben a la sustitución en la red espacial del disolvente, de átomos propios, por átomos de soluto, pero muchas veces esta sustitución es arbitraria en la estructura cristalina del solvente, no ocupando posiciones determinadas; de estas aleaciones se dicen que se presentan en forma desordenada.

Cuando se enfría lentamente, aparece cierta reagrupación atómica, en virtud de la cual los átomos de soluto aparecen ocupando posiciones definidas dentro de la red. Estas nuevas estructuras se conocen como soluciones sólidas ordenadas o superredes.

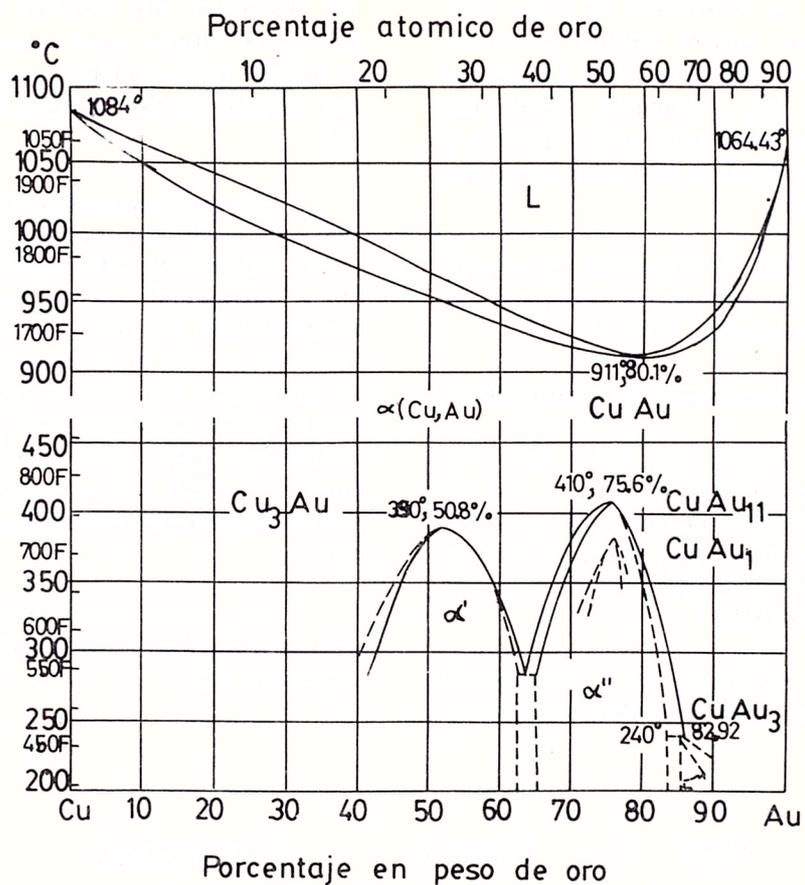
Estas soluciones sólidas ordenadas suelen presentarse en las aleaciones formadas por metales totalmente solubles en estado sólido y por lo general la máxima ordenación se presenta cuando la proporción entre los átomos de solvente y de soluto es sencilla, por esta razón, la fase ordenada, responde algunas veces a fórmulas químicas”, como se verá en las aleaciones oro-cobre y oro-plata.(5)

### 1.3. Sistema oro-cobre

El análisis de las aleaciones oro-cobre es de gran importancia debido al cambio de dureza que experimenta el oro, y los diferentes tipos de redes que obtienen en los diagramas según las diferentes composiciones.

El diagrama oro-cobre presenta una solidificación en una solución sólida única, con las respectivas transformaciones en estado sólido.

Del diagrama de equilibrio oro-cobre, se ha obtenido los siguientes datos, Fig. 1.



61

Fig. 1 Diagrama Oro - Cobre tomado de Metals Handbook. (3)

	Minimo de congruencia	80.1% Au	911°C
a).	Formación de $\text{Cu}_3\text{Au}$	50.8% Au	390°C
b).	Formación de $\text{CuAu}$	75.6% Au	410°C
c).	Formación de $\text{CuAu}_3$	82.92% Au	240°C

La formación de estos compuestos, ocurre debido al enfriamiento lento de estas aleaciones a, b, c), formando soluciones sólidas ordenadas que obedecen a sus respectivas fórmulas estequiométricas.

En el diagrama de equilibrio, las soluciones ordenadas se designan por el símbolo ( $\alpha$ )<sup>4</sup>.

#### Transformaciones en estado sólido.

Cu<sub>3</sub>Au (50,8o/o Au) y el Cu Au (75.6o/o Au) se ha investigado que ellos son causados por la tendencia hacia el ordenamiento en arreglos atómicos a baja temperatura.

Se sabía que la transformación orden - desorden, en el siste-

ma oro-cobre, son cambios homogéneos de estado, pero actualmente se sabe que aquellas transiciones son clásicas en los cambios de fase (5).

Los ordenamientos que presenta el AuCu son ortorrómbicos en su primera modificación AuCu II y tetragonal en su segunda modificación AuCuII. Más tarde se investigó acerca de la tetragonal y se consideró ser estable sobre la temperatura de desorden. En la actualidad está bien establecido que el CuAuII no es justamente una transición de fase metaestable (5).

Las estructuras cristalinas que se presentan en este diagrama oro-cobre son:

FASE	FORMULA	ESTRUCTURA
$\alpha^I$	AuCu <sub>3</sub>	Cúbica ordenada
$\alpha_1^{II}$	AuCu <sub>I</sub>	Tetragonal
$\alpha_2^{II}$	AuCu <sub>II</sub>	Ortorrómbica
$\alpha^{III}$	Au <sub>3</sub> Cu	-----

Los modelos de estas estructuras constan en la Fig. 2.

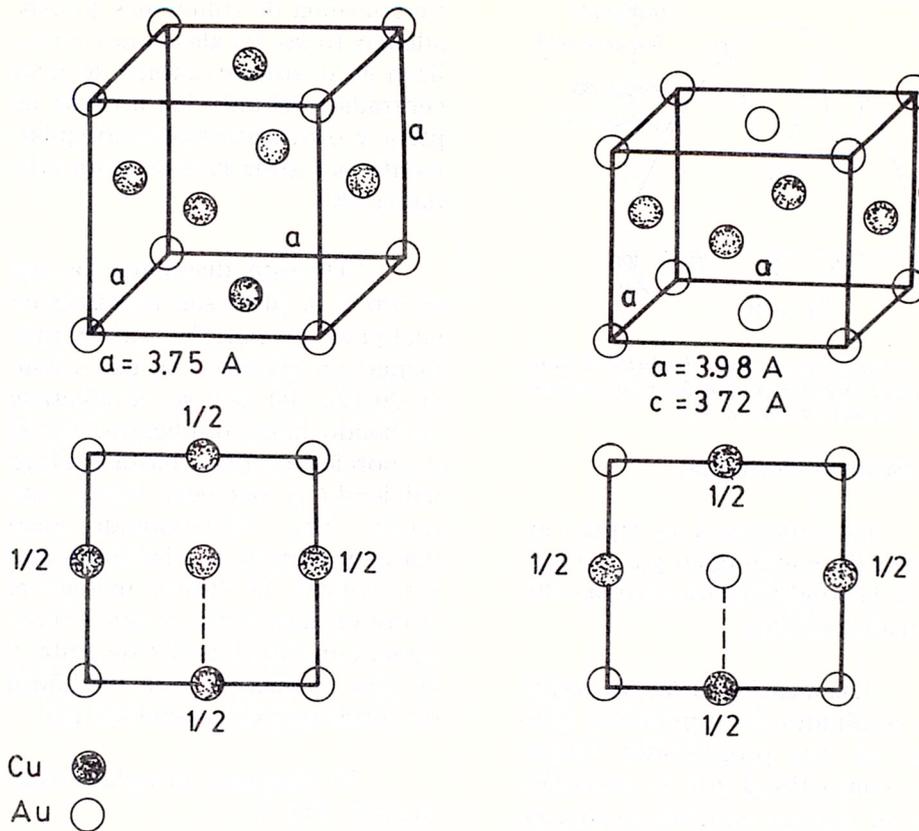


Fig. 2 Modelo de las estructuras cúbica ordenada y tetragonal. Tomado de Metals Handbook. (3)

En la práctica, referente a la formación de  $\text{Cu}_3\text{Au}$  en 50.8o/o Au y a la formación de  $\text{CuAu}$  en 75.6o/o de Au, se tiene que cuando tales aleaciones se forman y se trata de laminarlas o trabajarlas en general, semejantes aleaciones deben ser enfriadas rápidamente para evitar la formación de grietas, etc. (2-6).

Esto, se verá más adelante al estudiar las reacciones orden - desorden.

Pero cuando ocurre la ordenación, esta da lugar a una notable disminución de la resistividad eléctrica, como se puede ver en la figura 3. (4).

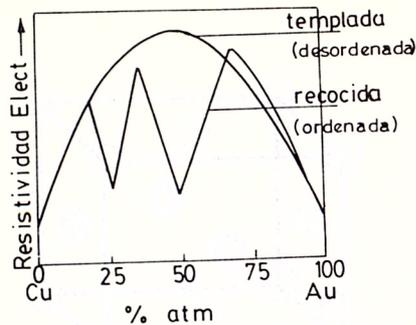


Fig. 3 Sistema oro - cobre. Variación de la resistividad eléctrica en función de la composición. Tomado de Avner. (4)

#### 1.4 Sistema Oro-plata.

Este diagrama es típico en el estudio metalúrgico ya que presenta la solidificación de una solución sólida única.

Las aleaciones Ag-Au, según los resultados de numerosos estudios de sus propiedades físicas, son compatibles con la asunción, que el sistema consiste en una se-

rie continua de soluciones sólidas, además todas las aleaciones cristalizan en el sistema cúbico de caras centradas, estando los átomos de plata y oro, distribuidos irregularmente por toda la estructura cristalina. (8).

“De este diagrama, ya que el oro y la plata son miscibles en cualquier proporción existe problemas en cuanto a su uso y sólo la dureza del oro se ve afectada creciendo hasta duplicarse, con la proporción de plata hasta 35.4o/o volviendo a decrecer desde este punto ”(2). Comparando estos datos de dureza, con las aleaciones (oro-cobre), la dureza merced al cobre es mayor que la que se consigue, con una aleación de plata, y alcanza el máximo con un 25o/o de cobre aproximadamente. (5).

El diagrama oro-plata consta en la Fig. 4.

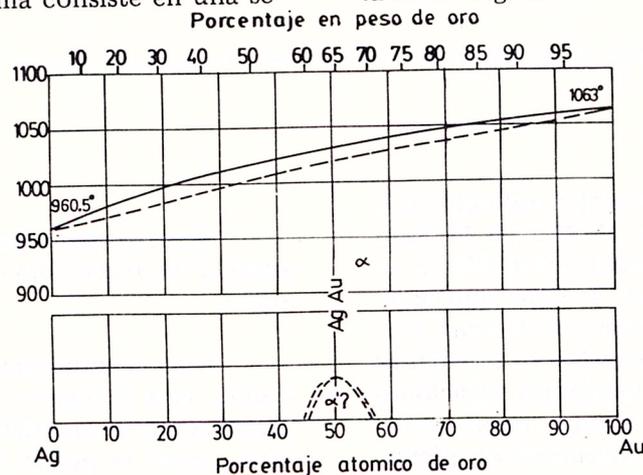


Fig. 4 Diagrama Oro - Plata. Tomado de Hlansen. (8)

Del diagrama oro-plata, se ve que en la aleación 50o/o at Au se puede encontrar un parcial ordenamiento de átomos, además ciertas anomalías de las propiedades termodinámicas han sido consideradas compatibles con la existencia de fases intermedias, o estructuras ordenadas, que se dan en esta aleación, en cambio en las composiciones  $Ag_3Au$ ,  $AgAu$ , y  $AgAu_3$  no han podido ser detectadas las superestructuras. (5).

### 1.5 Reacciones Orden - desorden

Como se ha podido observar en el análisis de estos dos diagramas, se han encontrado las reacciones orden - desorden.

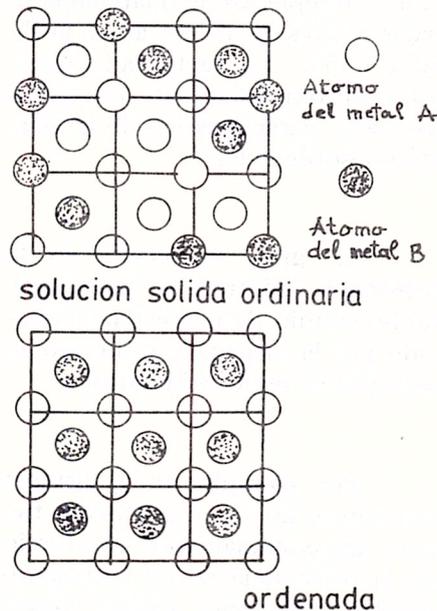


Fig. 5 Ejemplo de una solución sólida ordinaria y una ordenada. Tomado de Albert Guy. (7)

Recordando que una solución sólida está compuesta de átomos de solvente y átomos de soluto, distribuidos al azar en los puntos de la red del metal solvente. La perfecta ordenación de una solución sólida puede producirse solamente si los dos tipos de átomos están presente en proporciones determinadas, como se ve en el ejemplo de la Figura 5. (7).

Estudiando los diagramas oro-cobre y oro-plata, una de las características más importantes en las aleaciones, es la posibilidad de producir en ellas cambios internos, que alteran enormemente sus propiedades.

### 1.6 Endurecimiento por Ordenación. 65

Las reacciones en estado sólido son muy importantes y significativas, porque aumentan la dureza muy por encima del grado posible de conseguir por endurecimiento, al alear solamente. No es necesario que la pieza se deforme plásticamente para obtener un endurecimiento, y se puede realizar el endurecimiento oportunamente mientras se sigue el proceso de fabricación. Sin embargo este tipo de endurecimiento presenta algunos inconvenientes, como consta a continuación:

- a) Una reacción en estado sólido en condiciones de equilibrio no

conduce a un endurecimiento apreciable. Para producir el endurecimiento es necesario formar una estructura fuera de equilibrio. (7).

b) El grado de endurecimiento producido por una reacción determinada, en estado sólido, en general varía de sistema a sistema y puede ser insignificante en algunos casos. La aparición de una reacción dada debe considerarse, por tanto, condición necesaria, pero no suficiente para el endurecimiento. (7).

66

La ordenación de una solución sólida al azar (desordenada), es parte de los procesos de endurecimiento por envejecimiento y está dentro de las reacciones en estado sólido, capaces de producir aumentos útiles de dureza.

Para producir un endurecimiento por ordenación es necesario:

1. "Elección de una composición dentro del intervalo de existencia de una fase ordenada.

II. Obtención de la solución sólida desordenada a temperatura ambiente:

- a) Calentando la aleación a una temperatura dentro de la zona aconsejada para el tratamiento de desordenación.
- b) Enfriando rápidamente desde esta temperatura

III. Formación de regiones de estructura ordenada en la solución sólida, manteniendo la aleación a una temperatura dentro del intervalo indicado para el tratamiento de ordenación". (7)

Los cambios de dureza por tratamientos térmicos de ordenación a temperaturas relativamente bajas o altas, se muestran en la Figura 7 (7). La ductilidad disminuye aproximadamente un tercio del valor característico de la aleación desordenada.

La gran reducción en la resistencia eléctrica es un importante cambio de propiedad producido por la ordenación, incluso en ausencia de endurecimiento.

Por ejemplo en el sistema oro-cobre, las fases ordenadas tienen aproximadamente un tercio de la resistencia de las correspondientes soluciones sólidas desordenadas, y son casi igual al cobre en conductividad.

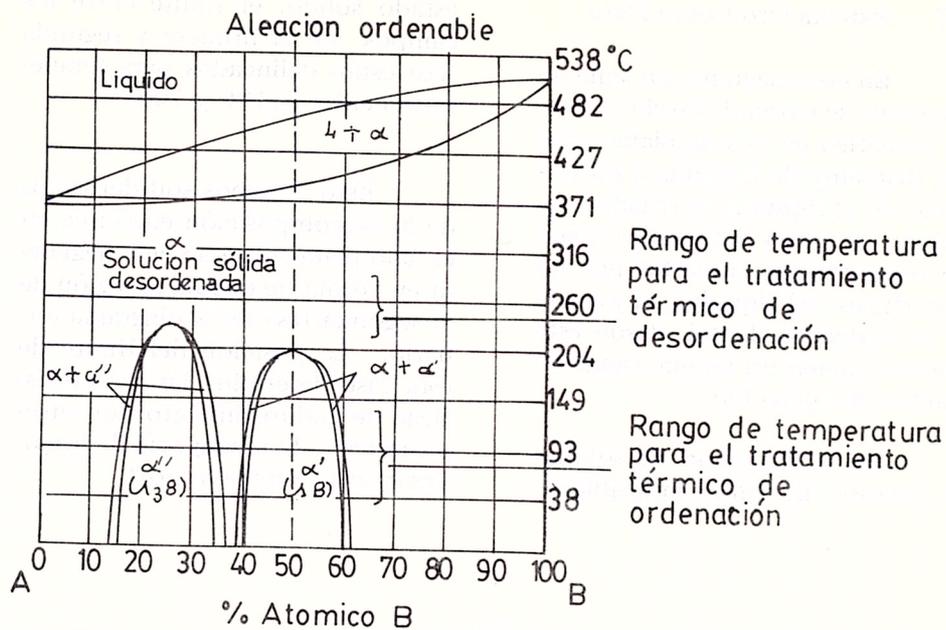


Fig. 6 Etapas para obtener un endurecimiento por ordenación. Tomado de Albert Guy. (7)

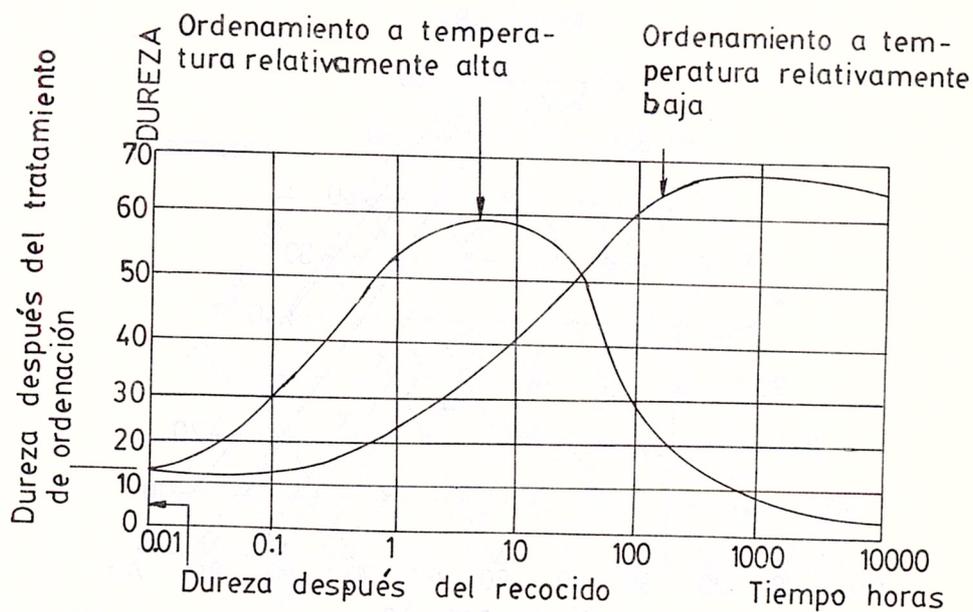


Fig. 7 Variación de la dureza en relación al ordenamiento. Tomado de Albert Guy. (7)

### 1.7 Sistema Oro-Cobre-Plata

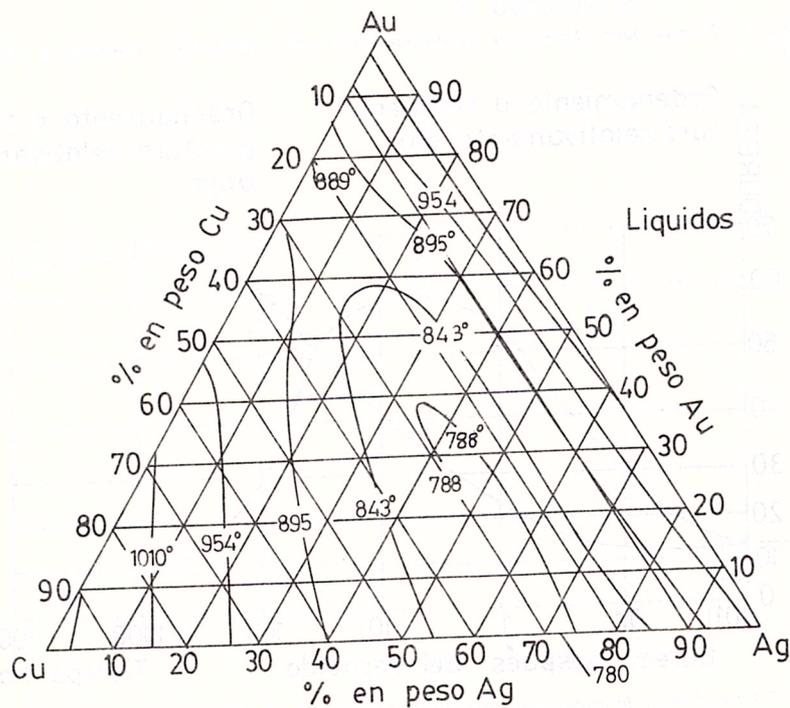
En este diagrama un valle de Líquidus se extiende desde el punto eutéctico en el lado plata-cobre del diagrama de líquidus a un mínimo en el líquidus en el lado oro-cobre. A causa del amplio rango de temperaturas cubiertas por las superficies del líquidus, la joyería y la soldadura dental, desde este sistema tienen un amplio rango de puntos de operación.

En el diagrama de solidus, se muestra la región inmisible en

estado sólido, el límite entre los campos de la primera y segunda fase están delineados para temperatura entre 371°C y 704°C.

Estos campos son derivados de la descomposición eutéctica en el lado plata-cobre, lo cual degenera en forma de cúpula la región de la segunda fase en el diagrama ternario. La posición del límite de ésta fase determina las características de endurecimiento por envejecimiento de la mayoría de las joyas de oro coloreadas. (3)

58



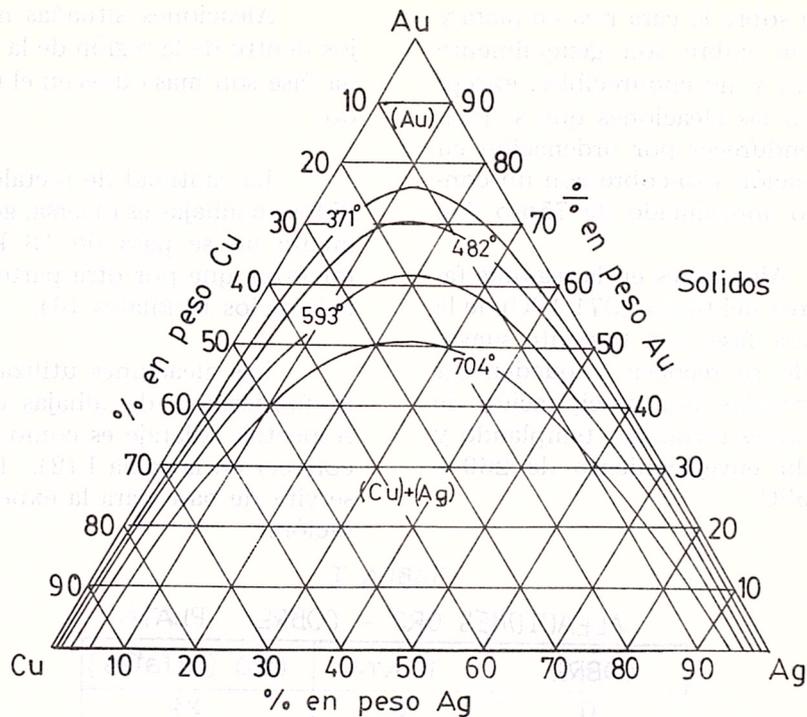


Fig. 8 Diagramas de Liquidus y Solidus del sistema Oro-Cobre-Plata. Tomado de Metals Handbook, 3

El estudio de los diagramas ternarios es muy complejo en relación a los diagramas binarios, pues se necesitan tres dimensiones para ser determinados.

### 1.8 Aleaciones de Oro Ternarias utilizadas en Orfebrería

La mayor parte de colorea-do de aleaciones conocidas en joyería y dentistería se basa en el diagrama oro-plata-cobre Fig. 9.

Además para este motivo también se modifica aleando con zinc y níquel para aleaciones de joyería, y de paladio y platino para aleaciones dentales.

En el diagrama ternario, los 2 campos de fase del sistema cobre se extiende hacia la esquina del oro en el diagrama.

En las aleaciones en la primera fase el área de la solución

sólida sobre la cara rica en plata y rica en cobre son generalmente blandas y no endurecibles, exceptuando las aleaciones que se pueden endurecer por ordenación en la aleación oro-cobre con un contenido aproximado de 75o/o Au.

Aleaciones en la segunda fase cerca del límite (371.1°C) de la primera fase, son bastante suaves cuando se recocen y pueden ser endurecidas por precipitación de soluciones recocidas, templando y usando envejecimiento de 260 a 315.5°C.

Aleaciones situadas más lejos dentro de la región de la segunda fase son más duras en el recocido.

La cantidad de metales añadidos en alhajas es diversa, generalmente no se pasa de 18 kilates, mientras que por otra parte no se baja de los 10 kilates. (6).

Las aleaciones utilizadas en la fabricación de alhajas con su respectivo kilataje es como se da a conocer en la tabla I (2). La cual servirá de base para la experimentación.

TABLA I  
ALEACIONES ORO - COBRE - PLATA

COBRE	PLATA	ORO (kilates)
0	0	24
0.5	0.5	23
1	1	22
2	2	20
3	3	18
3	6	15
3	8	13
3.5	8.5	12
4	10	10
4.5	10.5	9
5.5	10.5	8
8	9	7

Nota: Esta tabla no determina el kilataje para todas las aleaciones pues toda aleación que contenga un determinado porcentaje de oro, tendrá un determinado kilataje.

Por otro lado examinando las características exteriores de las aleaciones según KNAB, existe una relación entre el color y la composición de las aleaciones de oro, que se expresan en la tabla II (2).

COLOR DE ORO	COMPOSICIÓN DE LAS ALEACIONES			
	ORO	PLATA	COBRE	HIERRO
AMARILLO	1000			
ROJO	750		250	
ROJO CLARO	750	200	50	
VERDE	750	250		250
AZUL	750			
BLANCO (inglés)	750	150-190	100-60	

Además de los datos de la Tabla II, se tienen otras informaciones sobre la variación de coloración según la composición en las aleaciones oro-cobre y plata, lo cual está representado en la figura 9 (1).

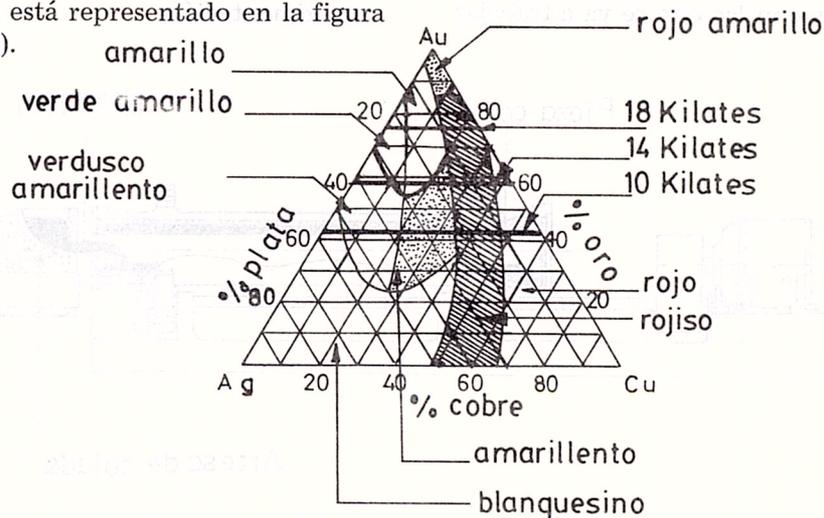


Fig. 9 Diagrama Oro - Cobre - Plata con su respectiva variación de colores y kilates. Tomado de Metals Handbook. (1)

En este diagrama es más comprensible la relación kilataje-peso. El kilataje según el peso está relacionado por una regla de tres simple:

Oro 24 K.            100o/o (peso)  
 Oro 18 K.            X o/o

$$X o/o = 1.800/24 = 75 o/o \text{ de Au.}$$

Oro 24 K.            100o/o (peso)  
 Oro 14 K.            X o/o

$$X o/o = 1.400/24 = 58.33 o/o \text{ de Au.}$$

## CAPITULO II

### FUNDICION POR CENTRIFUGACION

72

#### 2.1 Introducción

Una vez conocidas las aleaciones con las que se va a trabajar

es necesario conocer el proceso que sufrirán por medio de la centrifugación, en la experimentación.

La centrifugación hoy es un proceso muy común para la fabricación de piezas de orfebrería.

#### 2.2 Principio

El método se basa en la aceleración que sufre el metal líquido al tocar una lingotera que gira a altas revoluciones en torno a un eje vertical u horizontal. (fig. 10 y 11). (7), (10).

Es sistema vertical es usado en la fabricación de piezas de dimensiones reducidas, de geometría cilíndrica o variada (caso en que se emplea el sistema de "árbol de navidad") (9). Por ello se usará en la experimentación.

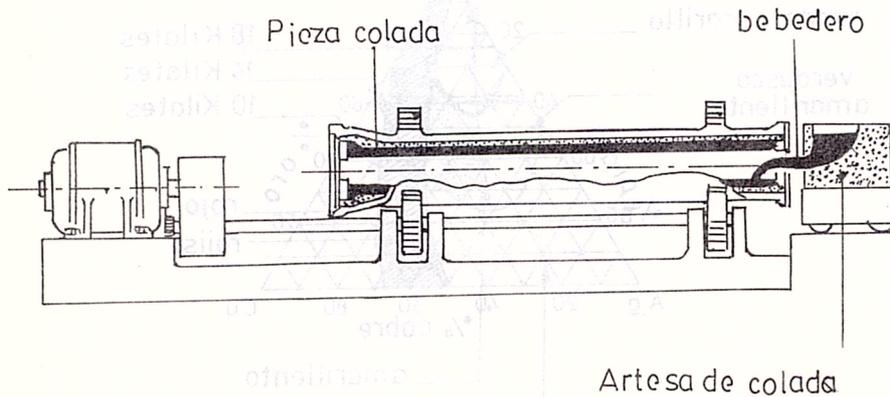


Fig. 10 Sistema eje horizontal. Tomado de Albert, Guy. (7)

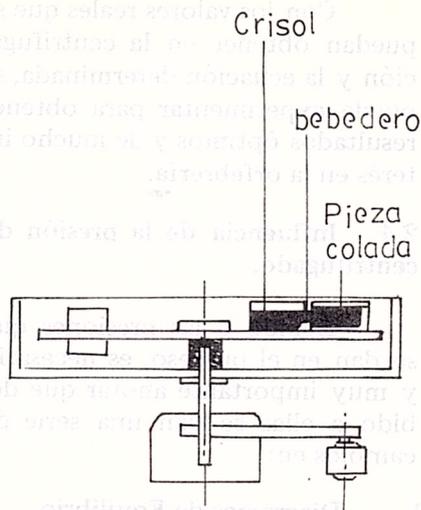


Fig. 11 Sistema Eje Vertical. Tomado de Handy & Harman's. (10)

Las principales características del proceso son las siguientes: (9)

- a) Existe una apreciable segregación por gravedad de los elementos más pesados, lo que es provechoso para el caso de los metales depositados en los casquillos; pues hay una gran concentración de metal pesado cerca de la unión "depósito-base", aun cuando la aleación utilizada es baja de contenido de soluto.
- b) El espesor máximo conseguido es de seis milímetros pero para este interés especial el espesor es demasiado grande.

- c) La producción mínima que justifica el método es un lote de 25 a 30 piezas.
- d) Los moldes pueden ser metálicos o de arena, en cuyo caso la aceleración no debe pasar de (40 a 60) g, (gravedad) también son de yeso, como las usadas en orfebrería.

El proceso mismo consiste en depositar el metal fundido en un crisol, del cual se inyecta a los moldes dispuestos radialmente bajo presión, por efecto de la fuerza centrífuga.

Acabada la colocada, se retiran las piezas de los moldes según el destino de las piezas y los requerimientos que han de llenar, deben sufrir o no tratamientos térmicos adecuados.

Una vez conocido el proceso es necesario determinar los parámetros que intervienen en la centrifugación.

### 2.3 Parámetros que intervienen en la centrifugación (9)

Los parámetros que intervienen en este proceso son la presión, velocidad, aceleración, radio de giro, material a centrifugarse, los que se han resumido en una sola ecuación de la presión, como se verá a continuación.

$$a = V^2/r$$

$$a = 4\pi^2 r n^2 / 3600$$

a = aceleración, se mide normalmente en número "g" (la aceleración de la gravedad).

r = radio de giro para la centrifugación.

n = velocidad en revoluciones por minuto (de la centrifuga).

La presión contra el molde es:

$$P = \frac{F}{A} \quad F = m \times a$$

$$P = \frac{m \times a}{A} \quad m = V \times \rho \quad V = A \times e$$

$$P = \frac{A \times e \times \rho \times a}{A}$$

$$P(\text{atm.}) = 4 \pi^2 r \cdot e \cdot \rho \cdot n^2 \cdot 3600 \times 10^6$$

$$P(\text{atm.}) = 11,4 \times 10^{-9} \times e \times \rho \times r \times n^2$$

La ecuación (1), ha sido estudiada y se ha experimentado la centrifugación con el aluminio y el hierro, y su solución gráfica, consta en la figura 12 (9).

Esta ecuación ha sido graficada para el espesor de un centímetro, para valores distintos hay que multiplicar el valor de la presión leído, por el espesor de la probeta en cada caso.

Con los valores reales que se puedan obtener en la centrifugación y la ecuación determinada, se puede experimentar para obtener resultados óptimos y de mucho interés en la orfebrería.

## 2.4 Influencia de la presión de centrifugado.

Debido a las presiones que se dan en el proceso, es necesario y muy importante anotar que debido a ellas se dan una serie de cambios en:

### I. Diagramas de Equilibrio

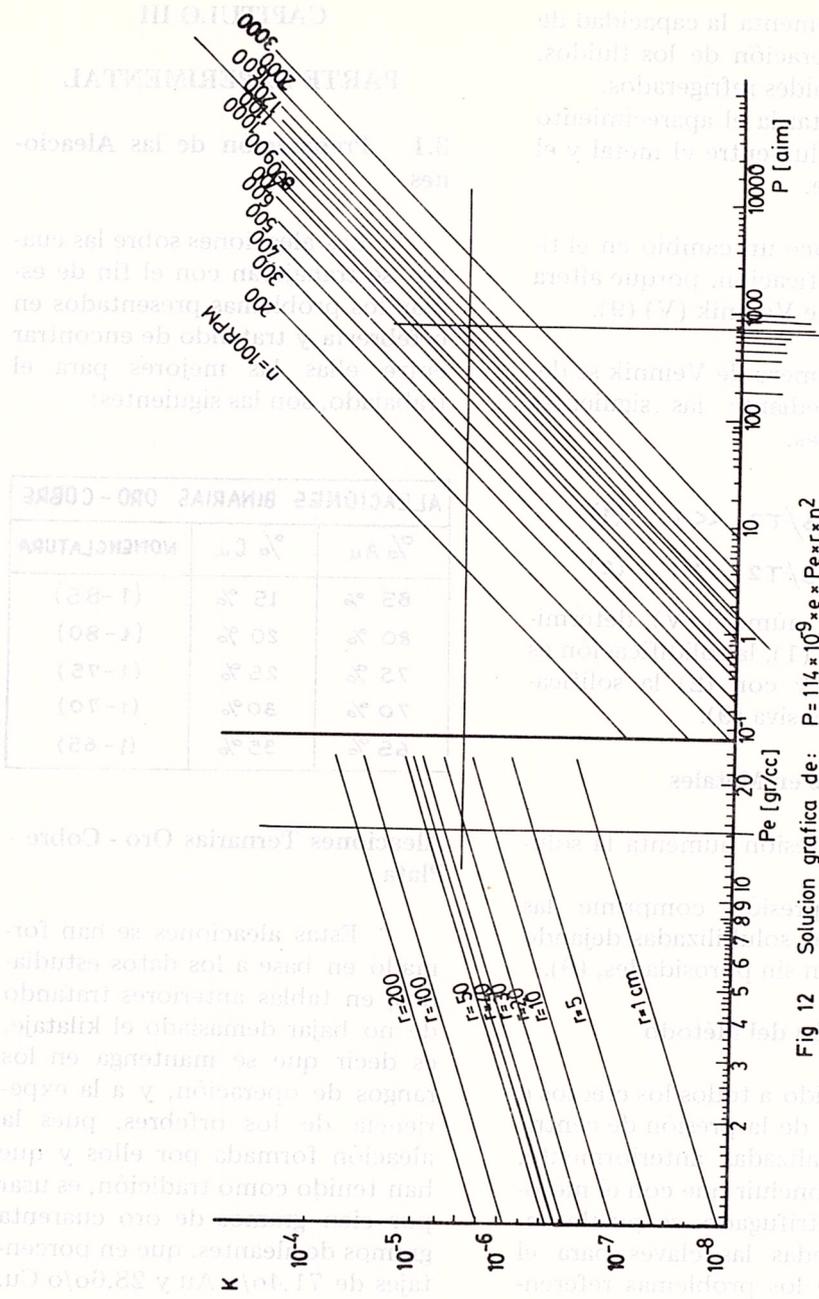
La presión aplicada sobre los metales que solidifican, altera el punto de fusión y la solubilidad de los componentes, cambiando consecuentemente el diagrama de equilibrio de las aleaciones.

La presión altera significativamente la cantidad y calidad de las fases presentes en una aleación dada. Lo que se ha demostrado prácticamente por Epantchintsev (9).

### II. Velocidad de Solidificación

1. La presión aumenta la velocidad de solidificación porque:

- a) Disminuye la resistencia interfacial, tanto de moldes desnudos (rompiendo la tensión superficial) como pintados (comprimiendo la película de pintura).



Tomado de Arno Muller

- b) Aumenta la capacidad de refrigeración de los fluidos, en moldes refrigerados.
- c) Retarda el apareamiento de la luz entre el metal y el molde.

2. Produce un cambio en el tipo de solidificación, porque altera el número de Veinnik (V) (9).

El número de Veinnik se determina mediante las siguientes desigualdades:

$$V = T_3/T_2 \ll 1 \quad (1)$$

$$V = T_3/T_2 \gg 1 \quad (2)$$

Este número (V), determina que con (1), la solidificación es progresiva, y con (2) la solidificación es extensiva (9).

76

### III. Gases en Metales

1. La presión aumenta la solubilidad.
2. La presión comprime las burbujas no solubilizadas dejando a la aleación sin porosidades, (9).

#### 2.5 Razón del Método

Debido a todos los efectos e influencias de la presión de centrifugado analizadas anteriormente, se puede concluir que con el método de centrifugado, se puede encontrar todas las claves para el análisis de los problemas referentes a la orfebrería.

## CAPITULO III

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 Preparación de las Aleaciones

Las aleaciones sobre las cuales se trabajarán con el fin de esdilar los problemas presentados en orfebrería y tratando de encontrar entre ellas las mejores para el trabajado, son las siguientes:

ALEACIONES BINARIAS ORO - COBRE		
% Au	% Cu	NOMENCLATURA
85 %	15 %	(1-85)
80 %	20 %	(1-80)
75 %	25 %	(1-75)
70 %	30 %	(1-70)
65 %	35 %	(1-65)

#### Aleaciones Ternarias Oro - Cobre - Plata

Estas aleaciones se han formado en base a los datos estudiados, en tablas anteriores tratando de no bajar demasiado el kilataje, es decir que se mantenga en los rangos de operación, y a la experiencia de los orfebres, pues la aleación formada por ellos y que han tenido como tradición, es usar por cien gramos de oro cuarenta gramos de aleantes, que en porcentajes de 71,40/o Au y 28,60/o Cu, es decir un oro de 17 kilates.

Las aleaciones formadas son las siguientes:

ALEACIONES TERNARIAS ORO-COBRE-PLATA			
Au %	Cu %	Ag %	NOMENCLATURA
74	25	1	(2-74-1)
73	25	2	(2-73-2)
71	25	4	(2-71-4)
69	25	6	(2-69-6)
67	25	8	(2-67-8)
63	25	12	(2-63-12)
61	25	14	(2-61-14)
55	25	20	(2-55-20)

### 3.2 Obtención de las aleaciones

La preparación de todas las aleaciones anteriormente citadas (5 binarias y 8 ternarias) requiere:

El pesaje de los elementos (oro - cobre - plata) con la ayuda de una balanza analítica, siendo los elementos, oro de lingote obtenido del Banco Central del Ecuador de calidad 49 (99.990/o de pureza).

Por otro lado el cobre usado como aleante (soluto) en las aleaciones binarias y ternarias fue cobre electrolítico, es decir de alta pureza 395 (99.950/o de pureza) (13).

De la misma manera que el oro utilizado se usó plata de lingote 49.

Los parámetros usados en la experimentación al centrifugar fueron:

Velocidad

1200 RPM (Valor constante del motor)

Radio de giro

200 mm (capacidad de la centrífuga).

Espesor de la probeta

1 mm.

Densidad del oro de 18 kilates

15.18 (10)

Presión

95 atm para el presente caso según la figura 12.

77

Todas las muestras restantes se obtuvieron en las mismas condiciones.

### 3.3 Ataque de las probetas

Para la observación de microestructuras y macroestructuras se prepararon varios compuestos, según las normas que se indican para estas aleaciones (11, 12). Dando los mejores resultados el ataque con agua regia.

El tiempo de ataque fue variable, según como iban apareciendo las macroestructuras.

### 3.4 Estudio de las probetas

1. Para obtener el gráfico de las figuras 13 y 14, número de granos Vs. composición, se fotografiaron las macroestructuras de las probetas.

2. Con los resultados de las figuras 13 y 14, se laminaron las aleaciones más importantes, reduciendo el 12o/o de su espesor con el objeto de dar una deformación superior a la crítica, para luego dar un tratamiento térmico adecuado.

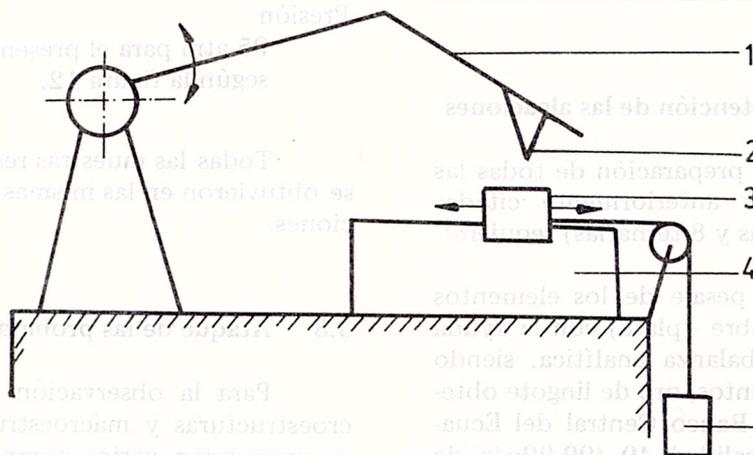
3. La temperatura usada para el tratamiento térmico fue de

460°C (14), durante 600 segundos, con el fin de homogenizar las muestras.

4. Se midieron las durezas relativas de todas las probetas, con el fin de obtener los gráficos 15 - 16 - 17 - 18 - 19 - 20.

La medición de la dureza relativa se hizo con la ayuda de un durómetro con indentador de cuchilla, comparando luego las señales dejadas por el indentador en la escala del banco metalográfico. Un esquema del durómetro con indentador de cuchilla es:

78



1. Peso
2. Cuchilla
3. Carro móvil porta probetas
4. Guía fija
5. Contrapeso

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANALISIS

De las mediciones de dureza, se ha podido graficar dureza de las aleaciones fundidas Vs. composición, dureza de las aleaciones laminadas Vs. composición, dureza de las aleaciones tratadas térmica-

mente Vs. composición, las mismas que constan en los gráficos 15, 16, 17, 18, 19, 20.

Con estos resultados es mucho más fácil estudiar las aleaciones óptimas para el trabajado en la orfebrería.

#### 4.1 Resultados Obtenidos

PROBETAS	MACROESTRUCTURA Gramos/cm <sup>2</sup>	DUREZAS RELATIVAS			
		FUNDIDO	LAMINADO 12%	HOMOGENIZADO 460°C-600 seg	TRATAM. TERMICO 460°C - 600 seg 250°C - 1800 seg
1 - 85	16	5,75	8	6	
1 - 80	11	7,25	7,5	7	
1 - 75	5	6,75	7	6,5	
1 - 70	7	6			
1 - 65	14	5,9	6	5,9	
2 - 74 - I		6	7	6	
2 - 73 - 2	27	8			
2 - 71 - 4	17,5	7,9			
2 - 69 - 6	12	5,8	6,5	7	
2 - 67 - 8	100	6,25	6,5	7,25	
2 - 63 - 12		7,5	8	7	
2 - 61 - 14		6			6,8
2 - 55 - 20					7,5
ORFEBRES. EQUIAX.		6,9			
ORF. EQUI. BATIDA		6,5			
ORF. LAMI. 30%			7,25		
ORF. RECOCIDA				6,9	

### 4.3 Conclusiones

Con los estudios teóricos y prácticos y los resultados ya expuestos se puede concluir:

- Mediante la utilización del centrifugado se evita el “agriado del oro”, que no es sino la fragilización de las piezas producto de la segregación de los bordes de grano de elementos extraños al material.
- Se puede obtener el lingote ideal para laminado o trefilado luego de haber realizado la homogenización.
- El kilataje de las piezas centrifugadas aumenta en las partes exteriores.

Por efecto de la variación de tamaño de grano y la dureza relativa se tiene que:

- Para colado y centrifugado el mejor rango de las aleaciones binarias está entre 80o/o y 85o/o de oro.
- Para laminación de aleaciones binarias entre 69o/o y 75o/o de oro.
- Para colado y laminado de aleaciones binarias entre 60o/o y 69o/o de oro.

En aleaciones ternarias con 25o/o de cobre constante se tiene:

- Para laminación entre 55o/o de oro; y mayor a 73o/o y menor a 75o/o de oro.

— Para colado y centrifugado entre 72o/o y 73o/o de oro.

— Para colado y laminado entre 67o/o y 70o/o de oro.

— El recocido debe hacerse de manera de evitar el endurecimiento por ordenación.

### 4.4 Recomendaciones

Con el estudio de aleaciones de oro realizado en esta tesis, se han conseguido conclusiones que pueden ser de mucha utilidad a los orfebres, pero es necesario recomendar el control y manejo de las aleaciones correctamente, para evitar desperdicios de material, que al volver a fundir no darán las aleaciones exactas y se tendrán nuevamente una serie de problemas.

También se debe anotar que con este estudio se abren una serie de inquietudes que podrían analizarse en trabajos posteriores y que serán de mucho interés como:

- Control de capa de pintura para recubrimiento del molde.
- Control del trabajado mecánico.
- Control de la presión de fundición por la velocidad de centrifugado.
- Estudio del comportamiento de las aleaciones con un contenido de 20o/o a 30o/o de cobre y de 10o/o a 0o/o de plata respectivamente.

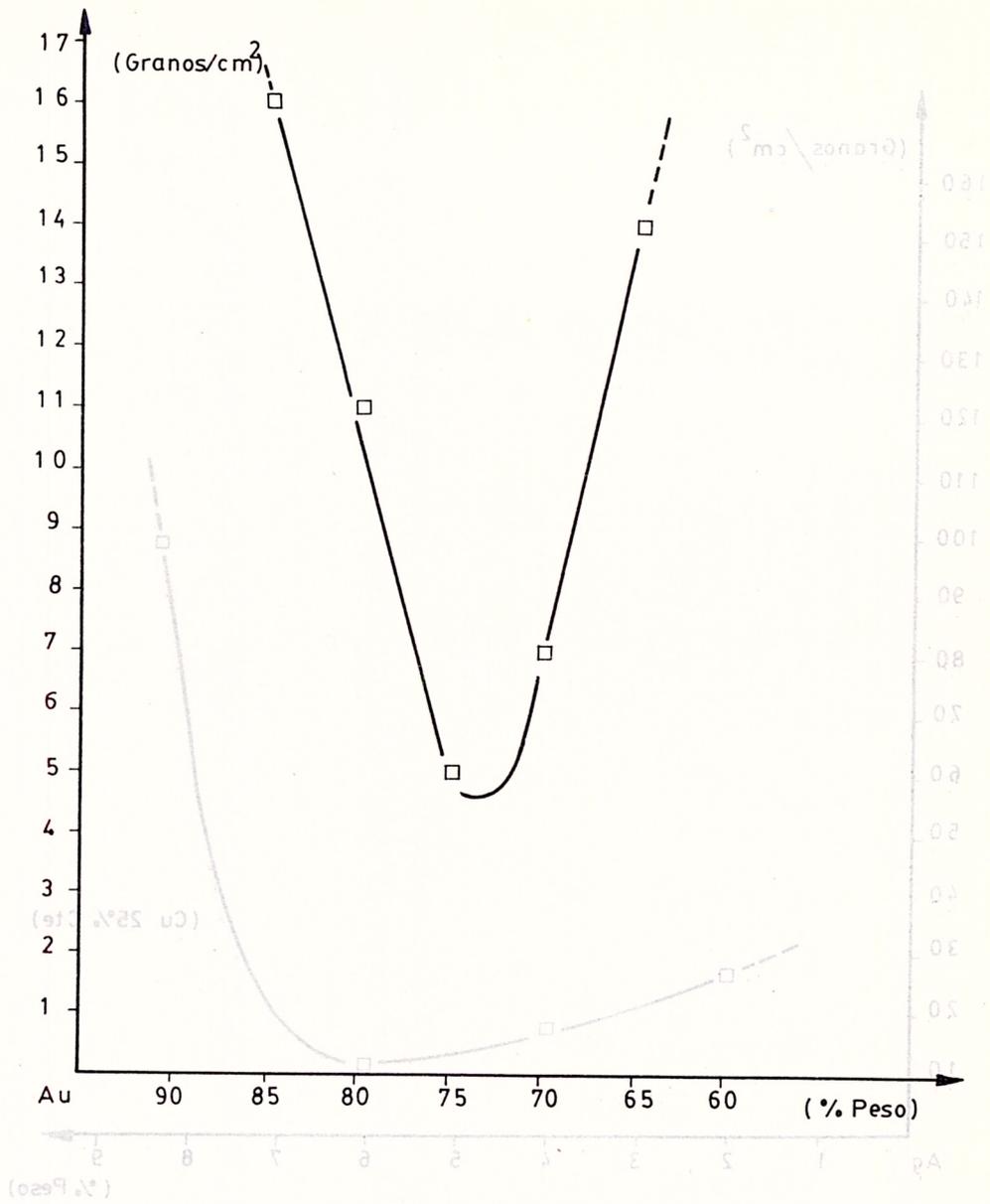


Fig 13 Variación de granos/cm<sup>2</sup> según la composición al fundir, en aleaciones de (Au-Cu)

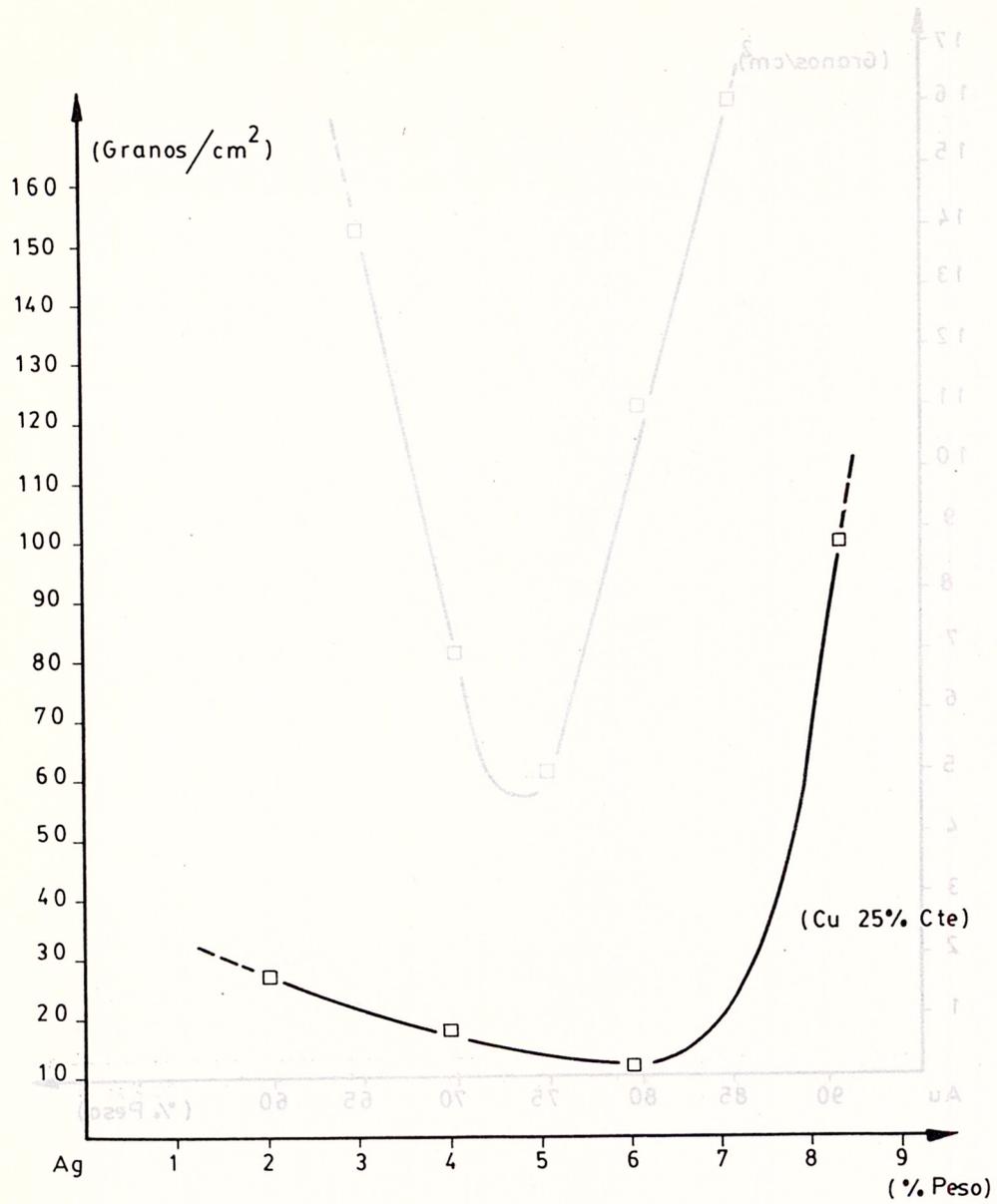


Fig 14 Variación de granos/cm<sup>2</sup> según la composición al fundir, en aleaciones de (Au-Ag-Cu)

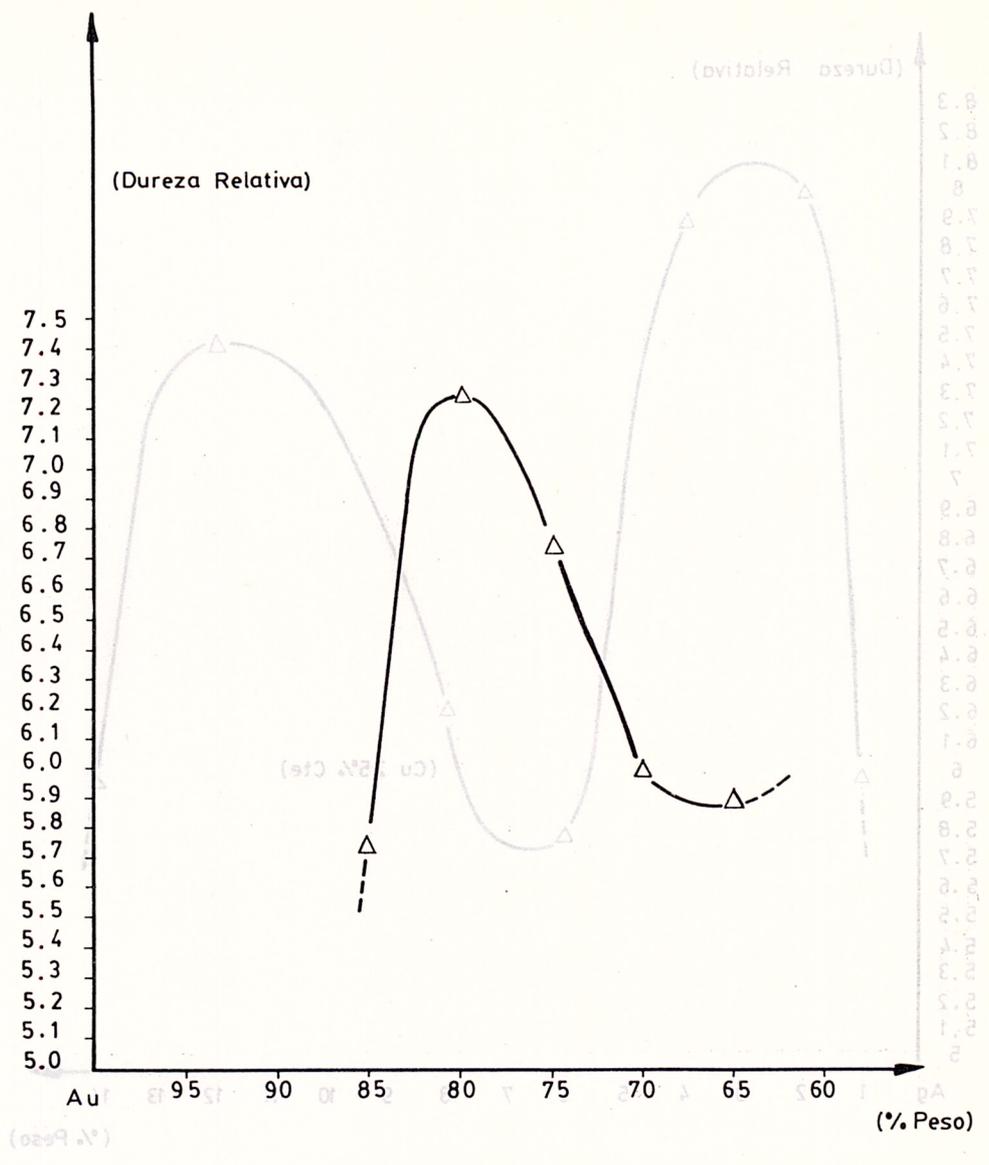


Fig 15 Variación de la dureza según la composición al fundir, en aleaciones de (Au-Cu)

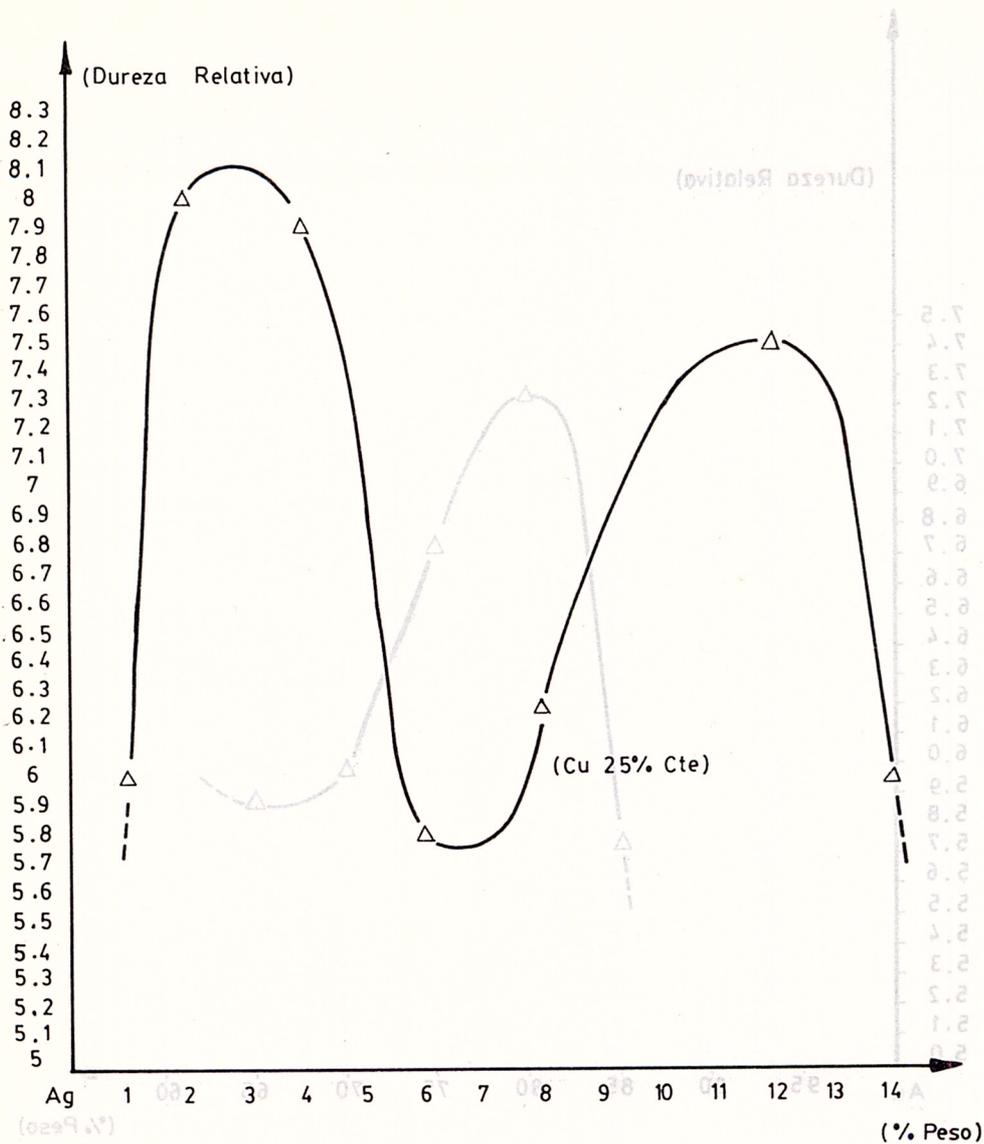


Fig 16 Variación de dureza según la composición al fundir, en aleaciones de (Au- Cu- Ag)

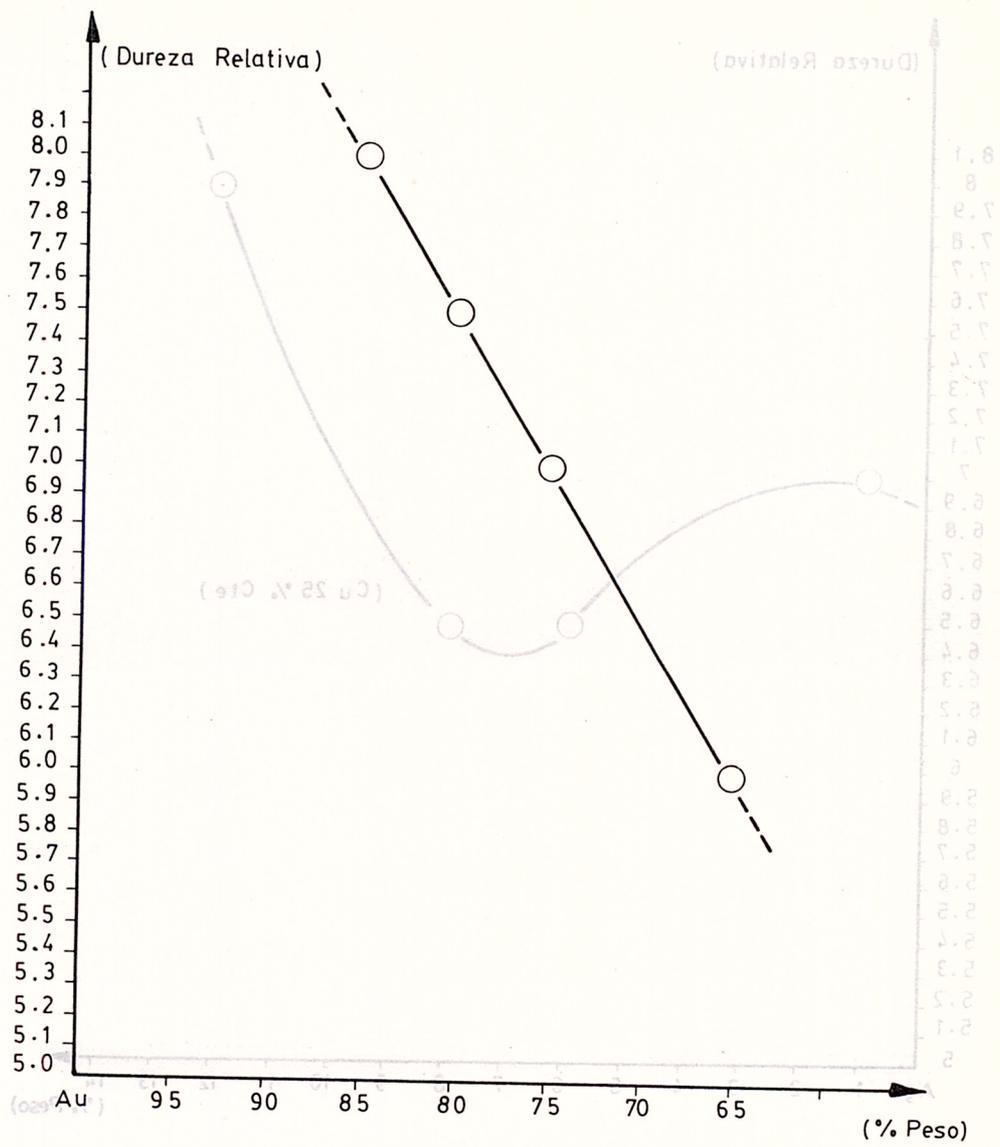


Fig 17 Variación de dureza según la composición al laminar, en aleaciones de (Au-Cu)

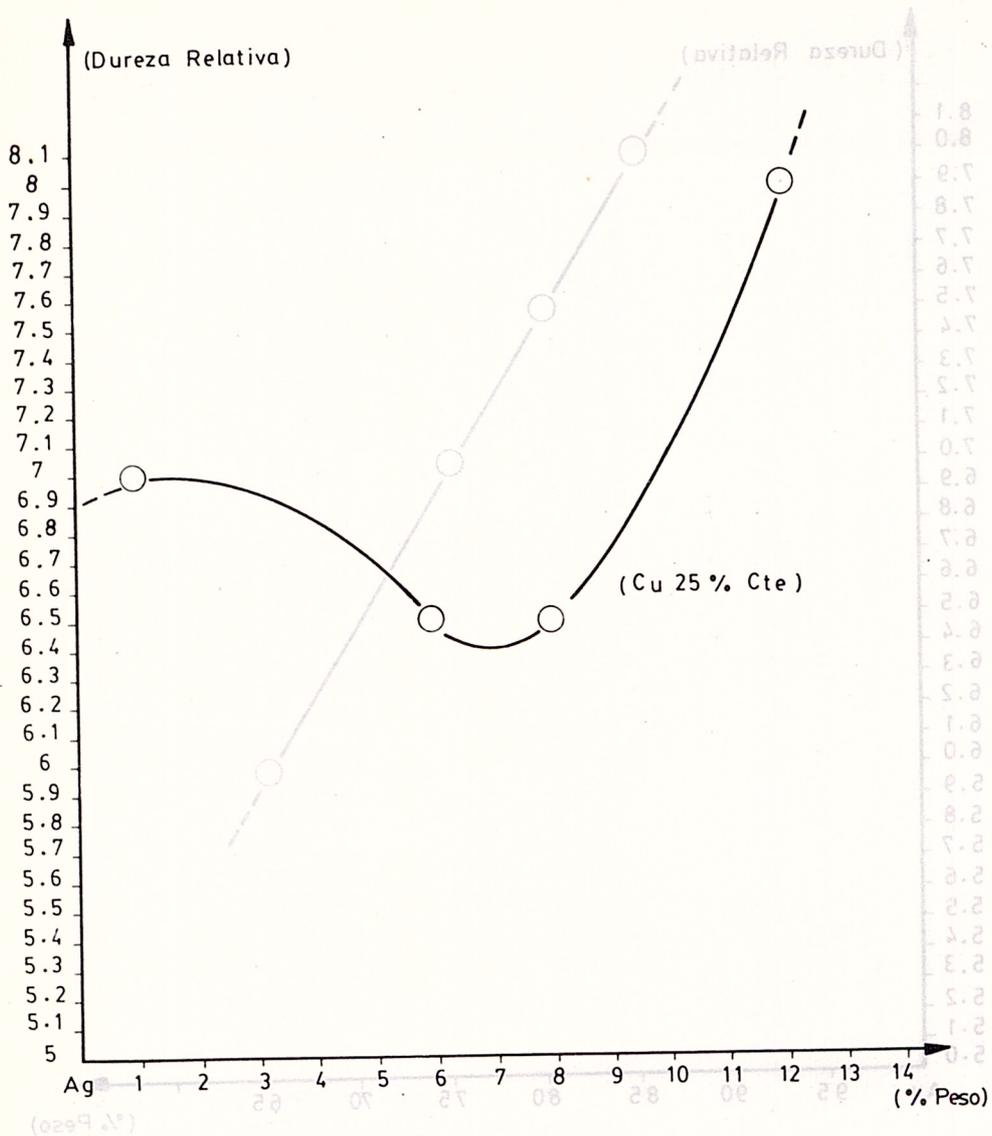


Fig 18 Variación de la dureza según la composición al laminar, en aleaciones de (Au-Cu-Ag)

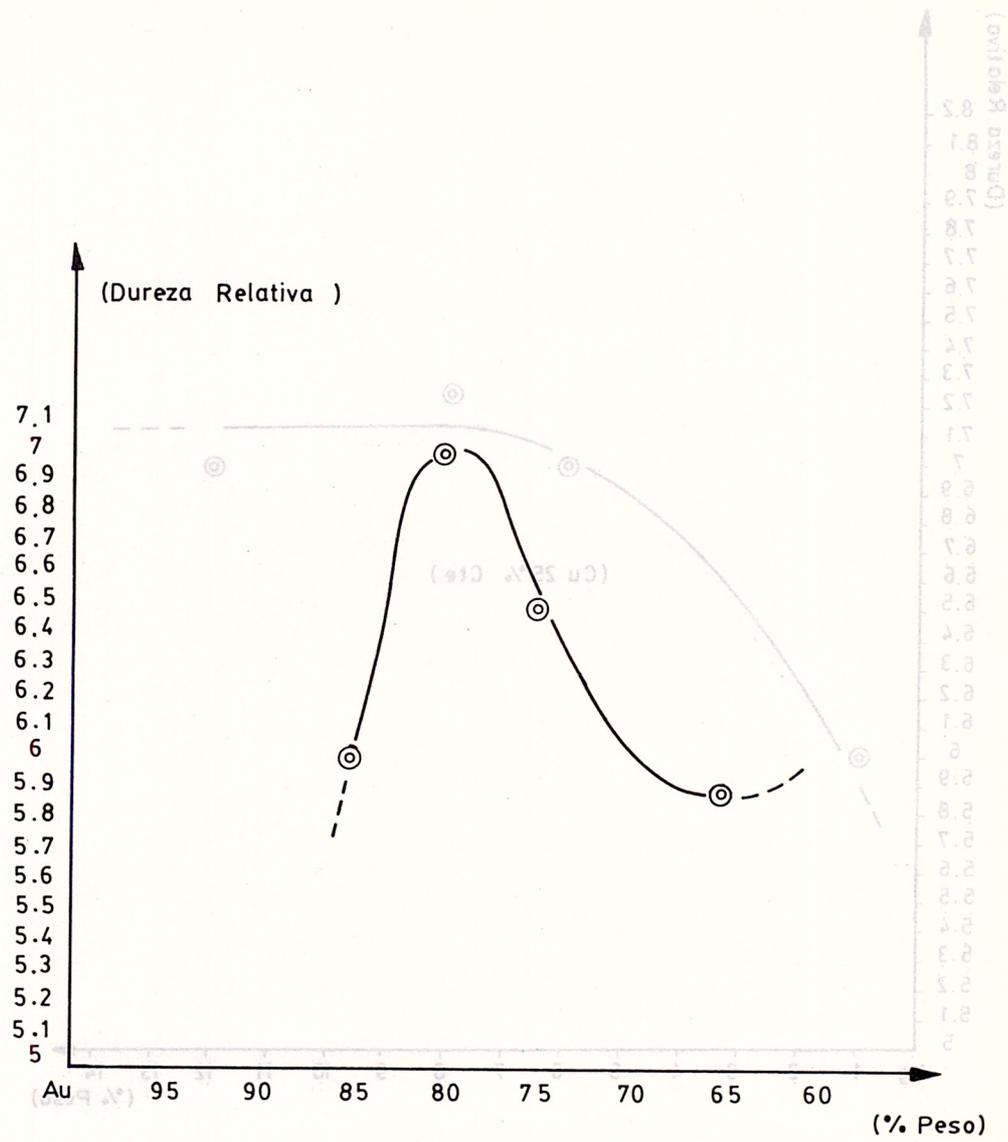


Fig 19 Variación de la dureza según la composición al recocer, en aleaciones de (Au - Cu)

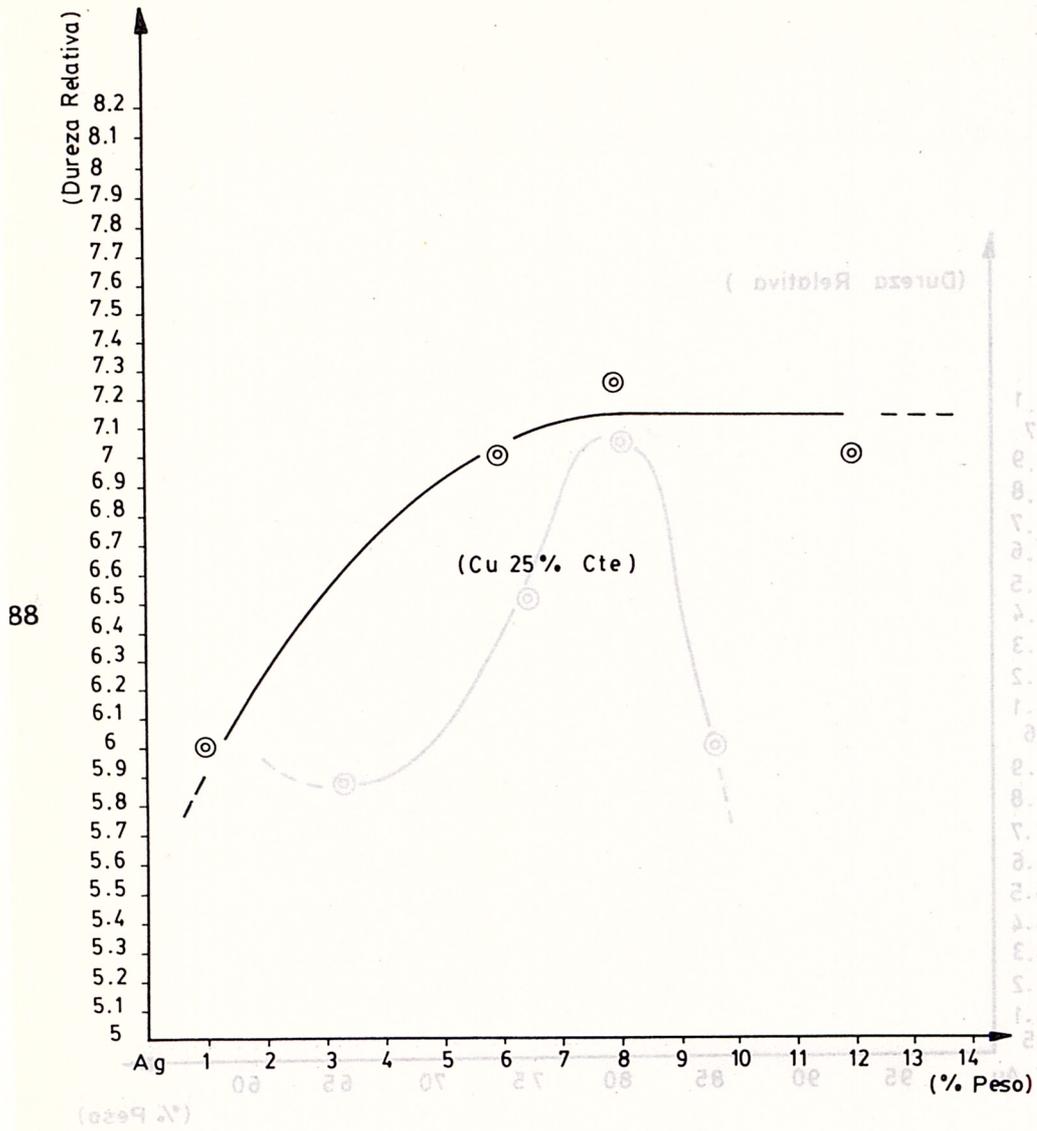
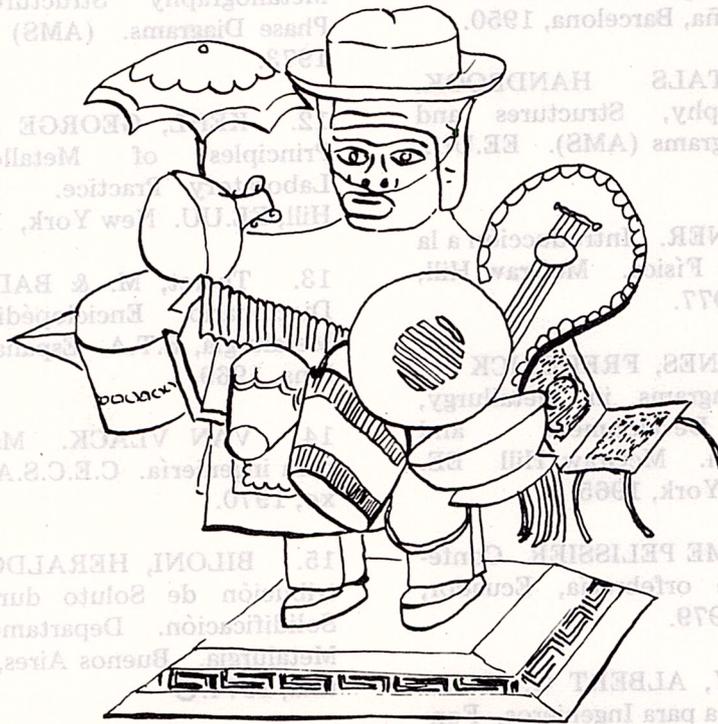


Fig 20 Variación de dureza según la composición al recocer, en aleaciones de (Au-Cu-Ag)

1. METALS HANDBOOK. Properties and Selection of Metals. American Society for Metals (AMS). EE.UU., 1961.
2. FRITZ ULLMAN. Metalurgia, Minería, Cerámica, Electroquímica, Explosivos. Gustavo Gili S.A., España, Barcelona, 1950.
3. METALS HANDBOOK. Metallography, Structures and Phase Diagrams (AMS). EE.UU., 1973.
4. AVNER. Introducción a la Metalurgia Física. McGraw Hill, México, 1977.
5. RHINES, FREDERICK N., Phase Diagrams in Metallurgy, Their Development and Application. McGraw Hill EE.UU., New York, 1965.
6. JAIME PELISSIER. Conferencias de orfebrería, Ecuador, Cuenca. 1979.
7. GUY, ALBERT G. Metalurgia Física para Ingenieros, Fondo Educativo Interamericano S.A. EE.UU. 1970.
8. HANSEN, MAX. Constitutions of Binary Alloys, L.U.V. EE.UU. New York. 1970.
9. MULLER, ARNO. Noveno Curso Panamericano de Metalurgia. Publicaciones del Departamento de Metalurgia. Argentina, Buenos Aires, 1973.
10. HANDY & HARMAN'S. Casting of Alloys, L.U.V. EE.UU. New York. 1970.
11. METALS HANDBOOK. Metallography Structures and Phase Diagrams. (AMS) EE.UU. 1973.
12. KEHL, GEORGE L. The Principles of Metallographic Laboratory Practice. McGraw Hill, EE.UU. New York, 1949.
13. Theret, M. & BADER, O. Diccionario Enciclopédico de Metalurgia, E.T.A. España, Barcelona, 1969.
14. VAN VLACK. Materiales para ingeniería. C.E.C.S.A. México, 1970.
15. BILONI, HERALDO. Distribución de Solutos durante la Solidificación. Departamento de Metalurgia. Buenos Aires, Argentina, 1974. ○

# LA FIGURA HUMANA EN EL ARTE POPULAR



**CENTRO INTERAMERICANO  
DE ARTESANIAS Y ARTES POPULARES  
CIDAP  
1985**

*Catálogo de la última exposición del Museo del CIDAP, la misma que recorrerá las principales ciudades del país.*