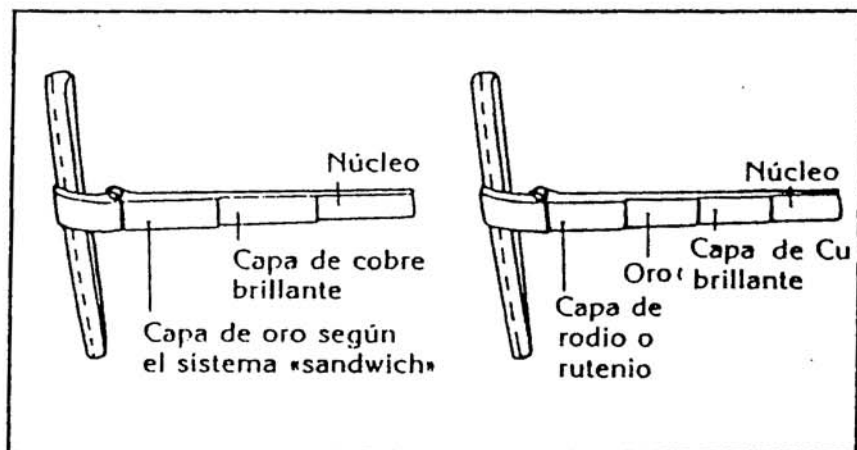


Tecnología para Ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología óptica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa



Chapado en oro

Rodiado

TECNOLOGIA PARA OPTICOS (I).- Heiner Behn. Warendorf. RFA.

nº		pg.
25	Bases Físicas	1
	Magnitudes fundamentales y unidades	
	Mecánica: Tipos de movimiento	3
26	Fuerza	5
	Principio de acción-reacción	6
	Fuerza de rozamiento	
	Palanca: ley de la palanca	7
27	Trabajo, energía y potencia	9
	Calor y temperatura	10
	Presión	11
28	Bases químicas	13
	Constitución de los elementos	
	Enlace químico, moléculas y iones	14
	Mezcla. Ecuación de reacción	
	Tipos de enlace	15
	Estructura de los metales	16
29	Ácidos y bases	17
	Oxidación, reducción	18
	Hidrógeno: Soldadura oxhídrica	
	Corrosión	19
	Carbono: Enlaces de hidrocarburos	20
30	Bases electrotécnicas	21
	Conductores, semiconductores y aislantes	
	Circuitos eléctricos	22
	Energía y potencia eléctrica	24
31	Medidas preventivas contra la corriente	25
	Medidas de protección: Prevención de accidentes	
	Bases tecnológicas.	27
	Resistencia mecánica	
32	Tensión	29
	Elasticidad	
	Dureza	30
	Estructura de aleaciones metálicas y metales puros	32
	Metales puros	
33	Aleaciones y mezclas de cristales	33
	Materiales ópticos	34
	Materiales metálicos:	
	Materiales de hierro y acero	
34	Materiales no férricos	37
	Exigencias en una montura metálica	39
	Materiales para monturas de gafas metálicas	40

	Materiales para lentes oftálmicas	19
	Vidrio Crown B 270	
	Vidrio de alto índice de refracción	
	Vidrio fotocromático	
45	Lentes multifocales	20
	Lentes progresivas	21
	Recubrimientos en lentes oftálmicas	22
	Capas antirreflejantes en lentes minerales	
	Recubrimientos mono, bi y multicapa	23
	Fabricación de capas finas	24
47	Capas antirreflejantes en lentes orgánicas	25
	Capas endurecedoras en lentes orgánicas	26
	Lentes filtrantes y lentes de protección solar	27
	Endurecido de lentes minerales	
	Materiales naturales	28
	Carey, cuerno	
49	Técnicas de fabricación: Control de calidad	29
	Calibración y medición	
	Tolerancias ISO y ajustes: errores de medición	30
	Control de longitudes: Unidad e instrumentos	31
51	Control de ángulos	33
	Trazado	
	Procesos de fabricación	34
	Metodos de fabricación según DIN 8580	
	Metodos de separación	
	Efecto separador de la cuña	35
	Efecto de arranque de la cuña de corte	36
53	Herramientas de corte	37
	Manipulación de materiales	
	Serrado, limado, rascado	38
	Taladrado	40
55	Fresado, rectificado	41
	Pulido de metal y material sintético	43
56	Biselado de lentes	46
	Desbaste, cortado, taladrado y montaje de lentes	
	Uniones	48
	Clasificación de los tipos de uniones	
	Unión atornillada	
	Perfiles	49
57	Normas de roscas	50
	Tuercas autofrenables	51
	Uniones remachadas	52
58 ?	Tecnología de la soldadura	53

35	Aleaciones no férricas y metales preciosos	41
	Aleaciones endurecibles	
	Materiales especiales	42
	Metales preciosos	43
	Oro doublé y recubrimientos galvánicos	45
	Indicaciones de la calidad de placado	
	Ennoblecimiento de superficies	46
	Galvanizado industrial	47
	Proceso de fabricación de una montura chapada	
	Recubrimientos plásticos en monturas	48
	Materiales orgánicos	49
	Galvanizado del aluminio	

TECNOLOGIA PARA OPTICOS (II)

38	Materiales Sintéticos (plásticos)	1
	Estructura y clasificación	
	Materias primas y proceso de fabricación	
	Termoplastos y duroplastos	2
	Materiales sintéticos para monturas de gafas	3
	Celuloide (nitrato de celulosa).	
	Acetato de celulosa (CA).	
	Acetobutirato de celulosa (CAB)	4
39	Propionato de celulosa (PC)	5
	Resina Epoxi (EP)	
	Poliamida (PA)	6
	Polimetilmetacrilato (PMMA)	7
	Proceso de fabricación industrial de monturas	
40	Reconocimiento de los materiales para monturas	9
	Materiales plásticos para lentes, L.C. y prismas	
	PMMA	
	CR 39	
	Policarbonato (PC)	10
	Corrosión de monturas plásticas	11
	Vidrio	12
41	Estado vitreo	13
	Propiedades ópticas del vidrio	
	Propiedades térmicas del vidrio	14
	Propiedades mecánicas del vidrio	15
	Propiedades químicas del vidrio	
	Fabricación del vidrio	
	Materias primas	
	Fusión del vidrio	16
43	Proceso de fabricación de lentes	17
	Tolerancias de fabricación de lentes oftálmicas	18

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn, (Warendorf)

Traducido y adaptado a la terminología optométrica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó, de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

BASES FÍSICAS

Prefacio

El plan general de estudios para la formación teórica de un óptico contiene en Alemania, según la resolución del KMK del 11 de marzo de 1976, en las áreas de estudio 1,5 y 10, materias que generalmente se conocen bajo el concepto de tecnología.

A grandes rasgos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Propiedades físicas, químicas y tecnológicas de los materiales.
- Los materiales: metal, sintéticos y vidrios.
- Técnicas de trabajo mecánicas de precisión.
- Máquinas e instrumentos del óptico*.

En esta serie se intentará —según parece por primera vez— tratar toda esta «tecnología para ópticos» conjuntamente.

No se trata de una descripción precisa de todos los detalles y casos límites, pues esto ya se ha hecho en numerosos artículos sobre casos concretos.

Bases físicas

La refracción de la luz a través de una lente es un fenómeno físico. En general, la física estudia los procesos de los cuerpos inanimados, en los que no se altera su naturaleza. La manera típica de proceder en la física, es observar, describir y ordenar los distintos procesos ocurridos en los experimentos. El físico pregunta a la naturaleza: «¿Cómo influyen la curvatura, el material y el espesor central de una lente oftálmica sobre la desviación de la luz?» (fig. 1).

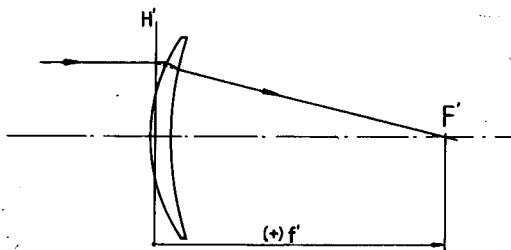


Fig. 1. Método físico de proceamiento. Propiedades medibles de procesos.

* En el plan de Estudios de las Escuelas Universitarias de Óptica en España, estas materias están incluidas entre los programas de dos asignaturas: materiales ópticos, los temas referentes a las propiedades y tipo de materiales y en tecnología óptica los temas referentes a las técnicas de fabricación y maquinaria (ambas asignaturas en segundo curso.)

Refracción de luz-magnitudes que influyen:

longitud de onda de la luz	λ
material del vidrio	n_2
espesor central del vidrio	d
potencias de las superficies	D_1, D_2
medio que rodea a la lente	n_1
medida: distancia focal	f
unidad de medida: (f') = m	

El resultado del experimento son unas magnitudes físicas medidas, que con ayuda de la matemática son formuladas como una ley física. Es decir, la física se ocupa de las propiedades medibles de los procesos, las magnitudes físicas.

Ejemplo: distancia focal, espesor central de la lente, velocidad de la luz. Para la descripción de una magnitud desconocida —distancia focal— se necesita una magnitud conocida, la unidad de longitud: metro. Como en la física existen muchas magnitudes medibles, se necesitan o muchas unidades de medida, o un sistema de medida unitario.

Magnitudes fundamentales y unidades

En la República Federal de Alemania se ha ordenado, por la ley sobre las «unidades de medida» del 2.7.1969, la aplicación del sistema internacional (SI) (tabla I). SI es la abreviatura para Systeme International d'Unites**.

En el SI se fijan unas unidades de medida para siete magnitudes fundamentales (DIN 1301). Todas las demás magnitudes y unidades se denominan magnitudes y unidades derivadas.

El valor de una magnitud física, su valor numérico o su valor de medida, es el producto de un número (valor numérico) y de la unidad de medida correspondiente.

Ejemplo: distancia focal $f' = 1,33$ m

valor de medida = valor numérico · unidad

$$f' = 1,33 \text{ m}$$

Tabla I. Sistema SI

Magnitud fundamental	Símbolos	Unidad de medida fundamental	Símbolos de las unidades
Longitud	l	metro	m
masa	m	kilogramo	kg
tiempo	t	segundo	s
intensidad de la corriente eléctrica	i	amperio	A
temperatura	T	grado Kelvin	K
intensidad de la luz	l	candela	cd
cantidad de materia	n	mol	mol

PARTES Y MÚLTIPLOS DE LAS UNIDADES

Si para todas las medidas tomadas se utilizaran sólo las unidades fundamentales, se obtendrían números con los que sería difícil de trabajar.

Ejemplo: La longitud de onda de la luz es de 0,000 000 546 m. Convenientemente se utilizan números elevados a la décima potencia, o se colocan determinadas letras delante de las unidades fundamentales que representan múltiplos o partes decimales de estas unidades.

Ejemplo:
 $0,000\ 000\ 546 \text{ m} = 546 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 546 \text{ nm}$
 (tabla II).

** En España está vigente el mismo sistema internacional (SI) por Ley de 8 de noviembre de 1967, modificada por el decreto de 25 de abril de 1974.

Tabla II. Prefijos para partes y múltiplos

Factor	Prefijo	Símbolo del prefijo
10^{12}	Tera	T
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Kilo	k
10^2	Hekto	h
10^1	Deka	da
10^{-1}	Dezi	d
10^{-2}	Zenti	c
10^{-3}	Milli	m
10^{-6}	Mikra	μ
10^{-9}	Nano	n

Definición de las unidades fundamentales de la mecánica

Longitud	Símbolo l	Símbolo de unidad
----------	-----------	-------------------

La definición del sistema internacional de la longitud da como unidad el metro, siendo este un múltiplo de una radiación determinada de un átomo. (Se utiliza la longitud de onda de la luz anaranjada producida por el gas noble criptón bajo numerosas condiciones especificadas en la norma)***.

En el dibujo técnico de la óptica se utiliza la unidad de longitud: mm. Si en el dibujo, está indicado sólo el valor numérico como indicación de una longitud se trata siempre de una indicación en milímetros (fig. 2).

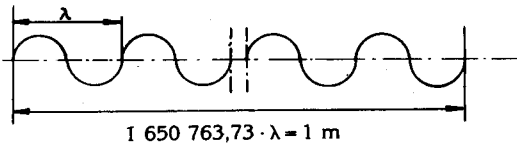


Fig. 2.

Masa	Símbolo m	Símbolo de unidad kg
------	-----------	----------------------

La unidad de masa es el kilogramo (kg). Está representado por el prototipo internacional de kilogramo. También equivale a 1 kg de la masa de 1 dm³ = 1 litro de agua a una temperatura de 4° C****. (fig. 3).

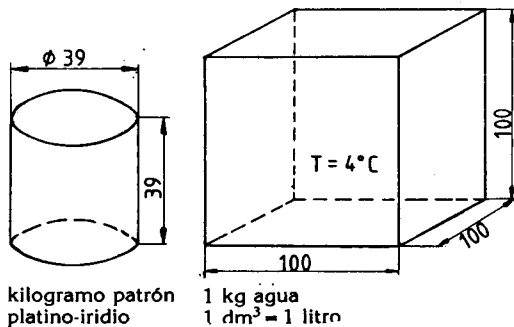


Fig. 3.

A pesar de que la masa es una magnitud fundamental, su descripción y su exacta interpretación es difícil.

*** 1 metro patrón = 1 650 963,73λ, donde λ es longitud de onda de la raya anaranjada correspondiente a la transición entre los niveles 2p₁₀ y 5d₅ del átomo de criptón 68.

Características de la masa:

- Cada cuerpo extenso (¡volumen!) consta de una cantidad de materia (¡masa!).
- La masa de un cuerpo es independiente de su lugar. La masa sigue siendo la misma en el espacio. (Por eso se seleccionó como magnitud fundamental la masa, y no como anteriormente, la fuerza).
- Las masas son inertes. Conservan su momentánea posición de reposo o de movimiento.
- Las masas ejercen fuerzas unas sobre las otras (fig. 4).

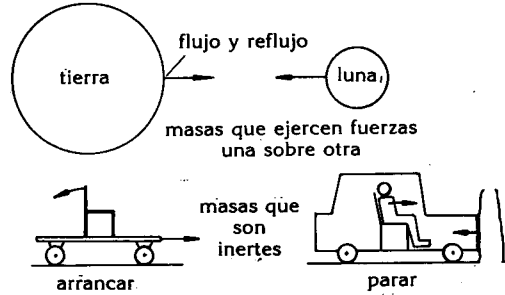


Fig. 4.

Las masas se pueden medir (pesar) con una balanza de brazos, comparándolas con cuerpos de masa conocida. Las masas de dos cuerpos son iguales si mantienen el equilibrio en una balanza de brazos. En el comercio y en la industria está permitido legalmente utilizar la palabra peso en lugar de masa, cuando la masa fue determinada por el proceso de pesada (fig. 5).

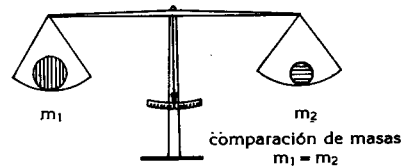


Fig. 5.

Tiempo	Símbolo t	Símbolo de unidad s
--------	-----------	---------------------

En el SI se define la unidad fundamental el segundo, como múltiplo de la duración de períodos de una determinada radiación*****.

Múltiplos de la unidad de segundo

el minuto (min): 1 min = 60 s
la hora (h): 1 h = 60 min = 3.600 s

Unidad derivada de la mecánica

Una unidad derivada importante de la mecánica es la densidad. Una densidad pequeña, significa un peso pequeño, y por tanto, una mayor comodidad en el uso de gafas.

Densidad	Símbolo	Símbolo de unidades g/cm ³
----------	---------	---------------------------------------

**** Ya que la masa de 1 dm³ de agua pura a 4 °C es de 1,000002 kg.

***** 1 segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hipérfinos del estado fundamental del átomo de cadmio 133.

La densidad de un cuerpo es una magnitud derivada. Cada material tiene su densidad que le caracteriza; es el cociente entre su masa y su volumen.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \quad \rho = \frac{m}{v} \quad [\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \text{o} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Tabla III. Densidad de algunos materiales (g/cm³)

agua	1,00	aluminio	2,7
aire	1,29 · 10 ⁻³	hierro	7,8
material sintético CR39	1,32	cobre	8,9
vidrio crown B270	2,54	níquel	8,9
flint denso SF64	3,00	mercurio	13,5
HI-crown HC 45	2,64	oro	19,3

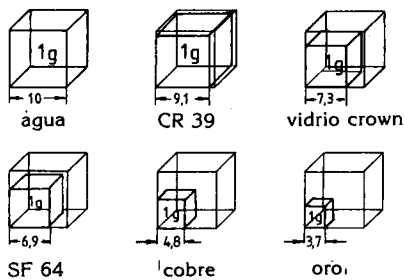


Fig. 6.

Mecánica

La mecánica como parte de la física estudia:

- Los movimientos de los cuerpos.
- Las fuerzas que ejercen sobre los cuerpos.
- La relación entre fuerza y movimiento.

El movimiento puede ser:

- uniforme o variado
- rectilíneo o circular.

Movimiento uniforme

En el movimiento uniforme, un cuerpo recorre en un mismo período de tiempo una misma distancia.

Ejemplo: Movimiento de avance en el taladro y fresado; un coche en marcha por la autopista que ni acelera ni frena; luz en su camino del sol a la tierra.

La velocidad v de un cuerpo es el cociente entre el camino recorrido s y el tiempo necesitado t .

$$\text{Velocidad } v = \frac{\text{Recorrido } s}{\text{Tiempo } t} \quad v = \frac{s}{t} \quad [v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{km/h en m/s: } 1 \text{ km/h} = \frac{1.000 \text{ m}}{3.600 \text{ s}} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s} = 0,2778 \text{ m/s}$$

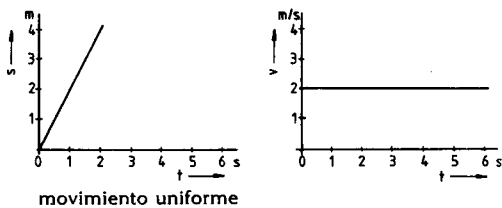


Fig. 7.

Movimiento variado

Un movimiento es variado cuando la velocidad cambia con el tiempo.

Ejemplo: un coche que arranca cambia su velocidad, acelera.

El movimiento de una lima sobre la pieza de elaboración consta de una aceleración desde la velocidad $v=0$, de una fase corta de velocidad uniforme y una deceleración hasta $v=0$.

En general queda establecido que:

La aceleración a (o deceleración a) de un cuerpo es el cociente entre la variación de la velocidad v y el tiempo transcurrido durante esa variación t .

$$\text{Aceleración } a = \frac{\text{variación de la velocidad } v}{\text{tiempo transcurrido } t} \quad a = \frac{v}{t}$$

$$[a] = \frac{\text{m/s}}{\text{s}} = \text{ms}^2$$

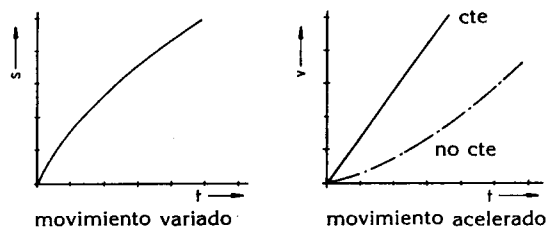


Fig. 8.

La aceleración puede ser constante. Es decir, la velocidad aumenta cada segundo por el mismo valor. Sin embargo, en la mayoría de instrumentos técnicos (coche, máquina taladradora, esmeriladora) la aceleración no es constante.

Un caso especial del movimiento uniformemente variado es la caída libre. Bajo este concepto se entiende la caída uniformemente acelerada de un cuerpo en el vacío, donde de todo cuerpo cae con la misma velocidad.

La auténtica caída de un cuerpo sobre la tierra está influenciada por la resistencia del aire.

La caída libre de un cuerpo es un movimiento uniformemente acelerado con la aceleración de caída (o aceleración terrestre) g .

$$v = g \cdot t$$

v velocidad de caída m/s
 g aceleración de caída m/s²
 t tiempo de caída s

Debido a la distribución desigual de la masa de la tierra, la aceleración de caída g es variable.

Su valor en Centroeuropa $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 en el Ecuador $g = 9,78 \text{ m/s}^2$
 en los Polos $g = 9,83 \text{ m/s}^2$

La distancia recorrida durante un proceso de aceleración (deceleración) viene determinado por:

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

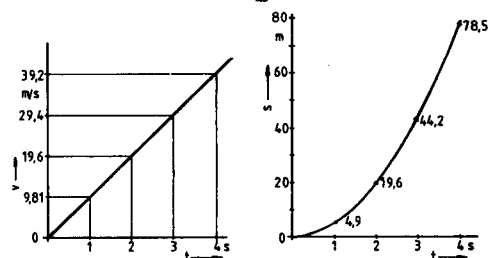


Fig. 9. caída libre dentro de la fuerza gravitatoria de la tierra.

Movimiento circular

Todas las ecuaciones y conocimientos expuestos hasta ahora son válidos para el movimiento rectilíneo como para el circular. Debido a la importancia del movimiento circular en la técnica, se han introducido en las ecuaciones de movimiento las magnitudes geométricas del círculo (perímetro, número π). No se trata por tanto de ecuaciones nuevas, sino que de sustituciones y conversiones.

Número de revoluciones

El grado abrasivo sobre una muela de grano o el diente de una fresadora efectúan un movimiento circular. Si marcha en vacío, sin carga exterior, aparecerá una velocidad uniforme.

Por lo que el número de revoluciones será constante. Se determina este número marcando un grano, contando el número de revoluciones z y dividiendo éste por el tiempo transcurrido t .

El número de revoluciones n es el número de vueltas z en el tiempo t .

$$n = \frac{\text{Número de revoluciones}}{\text{Tiempo } t} = \frac{\text{N.º de vueltas } z}{t} \quad n = \frac{z}{t}$$

Se utiliza para el tiempo segundos y minutos:

$$[n] = \frac{1}{2} \quad \text{s}^{-1} \quad \text{o} \quad [n] = \frac{1}{\text{min}} = \text{min}^{-1}$$

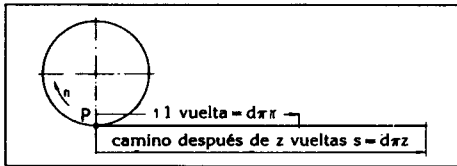


Fig. 10. Velocidad tangencial.

La velocidad de un punto P que sigue una circunferencia, se llama velocidad lineal o tangencial.

En el sentido técnico suele tratarse de la velocidad media.

También aquí es válida la ecuación:

$$v = \frac{s}{t}$$

El camino s que recorre después de z vueltas, es:

$$s = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot z \quad \text{o} \quad s = d \cdot \pi \cdot z$$

Si se resuelve la ecuación $n = z/t$ despejando z , y se sustituye z , se obtienen:

$$s = d \cdot \pi \cdot n \cdot t$$

sustituyendo en $v = \frac{s}{t}$

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n \cdot t}{t} \quad v = d \cdot \pi \cdot n$$

Pero la magnitud v sólo nos da el valor de la velocidad tangencial; su dirección varía constantemente; en cada momento la dirección es la del tangente al círculo.

Ejemplo: Durante el afilado o pulido las partículas siempre son lanzadas tangencialmente (fig. 11).

La relación especial entre el número de revoluciones y la velocidad tangencial se debe a que la velocidad tangen-

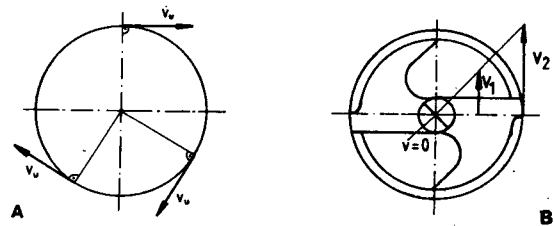
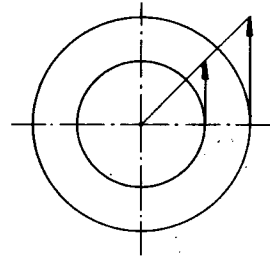


Fig. 11. A. La dirección de la velocidad varía constantemente. B. El valor de la velocidad tangencial depende del radio, en el centro la velocidad es cero ($v=0$).

cial depende del radio, pero el número de revoluciones es independiente de r .

Ejemplo: Una polea de transmisión grande y una pequeña están fuertemente encajadas al eje de un motor eléctrico. Ambas tienen el mismo número de revoluciones, pero la rueda grande tiene la mayor velocidad tangencial (fig. 12).



Ejemplo:
 $n_1 = n_2 = 1.450 \frac{1}{\text{min}}$
 diámetro de las poleas:
 $d_1 = 50 \text{ mm}; d_2 = 80 \text{ mm}$

velocidades tangenciales $v_1 = 0,05 \text{ m} \cdot \pi \cdot 1450 \frac{1}{\text{min}} = 227,8 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

$v_2 = 0,08 \text{ m} \cdot \pi \cdot 1450 \frac{1}{\text{min}} = 364,4 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Fig. 12.

Ejemplo: una muela de grano de diamante, $\varnothing = 110 \text{ mm}$, gira con una velocidad tangencial de $v = 25 \text{ m/s}$.

¿Qué velocidad tendrá en km/h?

$$v = 25 \text{ m/s} = 25 \cdot 3,6 = 90 \text{ km/h}$$

¿Qué valor tomará n expresado en 1/s y 1/min?

$$v = d \cdot \pi \cdot n \quad n = \frac{v}{d \cdot \pi} = \frac{25 \text{ m/s}}{0,11 \text{ m} \cdot \pi} = 72 \frac{1}{\text{s}} = 4.340 \frac{1}{\text{min}}$$

Ejemplo: Una plancha planoparalela con las dimensiones: $20 \times 75 \times 30 \text{ mm}$.

1) ¿Qué volumen tiene?

2) ¿Cuál será su masa, si su material es a) CR 39 b) B270

c) SF 64?

1) $= 20 \cdot 75 \cdot 30 \text{ mm}^3 = 45.000 \text{ mm}^3 = 45 \text{ cm}^3$

2a) masa $m = \rho V = 45 \text{ cm}^3 \cdot 1,32 \text{ g/cm}^3 = 59,4 \text{ g}$.

b) masa $m = 45 \text{ cm}^3 \cdot 2,54 \text{ g/cm}^3 = 114,3 \text{ g}$.

c) masa $m = 45 \text{ cm}^3 \cdot 3,00 \text{ g/cm}^3 = 135,0 \text{ g}$.

Problema igual al ejemplo anterior pero para un prisma de ángulo recto con base $b = 12 \text{ mm}$, altura $h = 44 \text{ mm}$ y anchura $c = 8 \text{ mm}$.

¿Qué densidad tiene el aire en unidades de kg/m^3 ?

Escriba las siguientes medidas de longitud en las unidades: nm, μm , mm, cm, y m.

0,083 mm; 36,9 nm; 0,0075 dm; 155 μm ; 0,094 μm .

Tecnología para ópticos

Bases físicas

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología optométrica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó, de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

Fuerza

La fuerza F es una magnitud física direccional (vector), causa de cualquier variación del movimiento o de la forma de un cuerpo.

En el desbaste de vidrio, en el cortado de metal o en el curvado de una varilla se ha de vencer la fuerza de cohesión entre las partículas del material. Según el tipo de material la fuerza para «separar» o «doblar», deberá ser mayor o menor. Como la fuerza para separar, curvar, atornillar, etc., es de gran importancia, se explicará primero el concepto físico de fuerza.

Al oír el concepto de fuerza se piensa primero en la causa de la fuerza y se la denomina como: fuerza muscular, fuerza elástica de un resorte, fuerza magnética, fuerza de rozamiento, fuerza por peso, etc.

También es costumbre denominar las fuerzas según el efecto físico que tengan: fuerza de tracción, fuerza de presión, fuerza de aceleración, de frenado, de corte, de flexión, etc.

En general, las fuerzas pueden variar la forma y/o el estado de movimiento de un cuerpo (fig. 1).

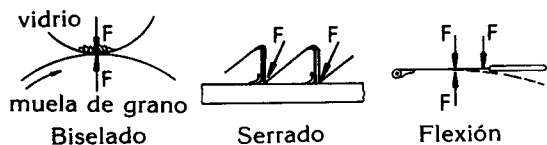


Fig. 1. Efectos de las fuerzas

La unidad de la fuerza

La fuerza F que actúa sobre un cuerpo es el producto de su masa « m », por la aceleración « a », que le comunica.

$$F = m \cdot a$$

$$F = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N}$$

La unidad $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ se denomina Newton (N).

Una Fuerza tiene una magnitud de 1 Newton, si al aplicarla a una masa $m = 1 \text{ kg}$, esta adquiere una aceleración de $a = 1 \text{ m/s}^2$.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

Para la determinación de la fuerza se necesitan dos datos:

- la magnitud de la fuerza
- el sentido de la fuerza

La fuerza de la gravedad F_g es aquí de gran importancia y su sentido se puede dar inmediatamente: hacia el centro de la tierra.

La fuerza de gravedad F_g

Todo cuerpo que se puede mover libremente dentro del campo de gravitación de la tierra es acelerado en dirección vertical hacia el centro de la tierra (fig. 2).

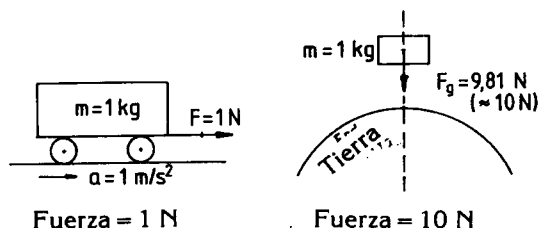


Fig. 2

Esta aceleración se denomina aceleración de caída g (o intensidad del campo gravitatorio terrestre, o más brevemente, gravedad). Según la segunda ley de la dinámica de Newton ($F = ma$), la causa de cualquier aceleración es una fuerza F . En el campo de la gravitación de la tierra, esta fuerza es la fuerza de la gravedad o peso F_g .

La magnitud de F_g se obtiene con el producto de la masa m de un cuerpo, por la gravedad g que se tenga en el lugar determinado. Como el valor de g cambia con el lugar de la tierra, también varía el peso F_g de un punto a otro de la tierra.

En cambio la masa m de un cuerpo permanece invariable. Por eso se tomó como magnitud base la masa constante m .

Ejemplo:

¿Qué masa deberá tener un cuerpo para tener sobre la tierra un peso de $F_g = 1 \text{ Newton}$?

$$F_g = m \cdot g \quad m = F_g / g \quad m = 1 / 9,81 \cdot \text{N s}^2 / \text{m} = 0,102 \text{ kg.}$$

Con una buena aproximación se puede decir que el resultado es: $m = 0,1 \text{ kg} = 100 \text{ g}$.

Si se multiplica el resultado por 10, se obtiene:

$$\text{Una masa } m = 1 \text{ kg tiene sobre la tierra un peso } F_g = 10 \text{ N}$$

Representación gráfica de fuerzas

Los dos datos para la determinación de una fuerza —magnitud y sentido— se pueden representar de forma fácil y clara mediante un vector.

Además se puede obtener por representación gráfica una solución lo suficientemente exacta. En la óptica está bastante extendida la representación y métodos de resolución vectorial de efectos cilíndricos y prismáticos.

En la figura 3 se representa:

- el sentido de la fuerza por el sentido del vector.
- la magnitud de la fuerza por la longitud del vector.

Para esto se establece una escala, que nos determina la magnitud de una fuerza que corresponde a un vector de 1 cm de longitud.

Ejemplo: $1 \text{ cm} \hat{=} 10 \text{ N}$ (fig. 3).

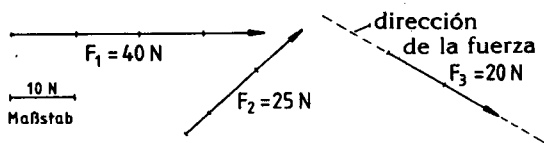


Fig. 3. Representación gráfica de fuerzas

Composición de fuerzas; dirección

Toda fuerza tiene una dirección. Sobre esta línea de dirección podemos variar el punto de aplicación de la fuerza, sin variar su efecto.

Ejemplo: es lo mismo tirar de un coche con una cuerda de 50 cm o con una cuerda de 5 m; también se puede empujar con una barra de 1 m de longitud.

Para el efecto de la fuerza da lo mismo donde se encuentre el punto de aplicación de la misma.

Por tanto, fuerzas con una misma dirección se suman, sumando su valor numérico, y se restan, restando su valor numérico.

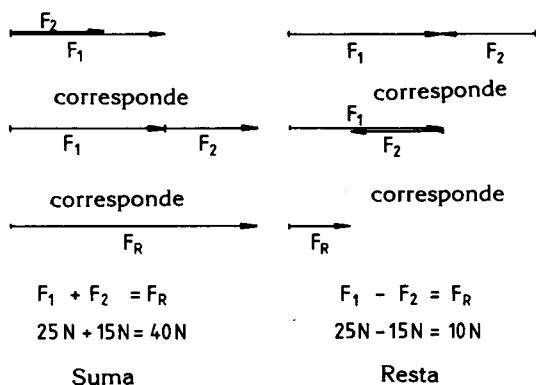


Fig. 4. Condición: las fuerzas deben tener la misma dirección

Si se quieren sumar fuerzas que no tengan la misma dirección habrá que desplazar las fuerzas sobre su línea de dirección hasta que los orígenes de los vectores coinciden con el punto en que se cortan las líneas de dirección. Después se construye un paralelograma que tenga por lado estos vectores. La diagonal de dicho paralelograma representa la fuerza resultante F_R .

La fuerza resultante F_R tiene el mismo efecto sobre el cuerpo que las dos fuerzas componentes.

De la misma manera se puede dividir una fuerza F en dos direcciones dadas. El efecto de las dos componentes de la fuerza es también aquí el mismo que el de la fuerza inicial (figs. 5 y 6)

Principio de acción-reacción

Una fuerza solamente es efectiva, cuando está presente otra fuerza antagonista, de al menos el mismo valor.

Ejemplo: una gafa resbalará de la nariz, si las fuerzas de rozamiento entre la nariz y los puntos de apoyo (pla-

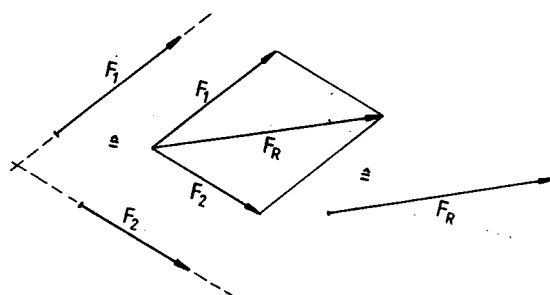


Fig. 5. Suma de fuerzas en el paralelogramo

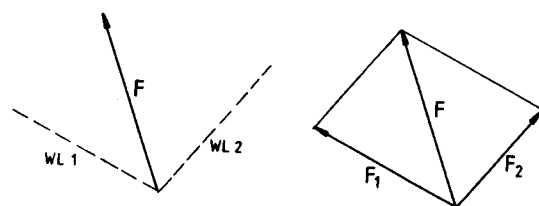


Fig. 6. Descomposición de una fuerza en dos componentes cuyas direcciones conozcamos

quetas) de la gafa no es lo suficientemente grande. o: un coche arranca muy lentamente sobre el hielo.

La fuerza antagonista siempre es igual a la fuerza (acción-reacción), pero de sentido opuesto.

Fuerza de rozamiento

En una taladradora o en una biseladora se transmite la fuerza y el movimiento del motor a través de una transmisión por correas a la máquina. Este accionamiento sólo es posible, porque se ejerce una gran fuerza entre correas y pulea. Esta fuerza se denomina fuerza de rozamiento: cuanto mayor sea esta, mejor será para el accionamiento.

En las mismas máquinas aparece en los puntos de apoyo: es decir, entre eje de accionamiento y casquillo, o entre eje y rodamiento a bolas, aparece una fuerza que frena el movimiento. También esta fuerza se denomina fuerza de rozamiento.

Las fuerzas de rozamiento tienen dos características: son imprescindibles para poder transmitir fuerzas, por otro, son molestas porque frenan los movimientos.

Magnitud de la fuerza de rozamiento

La magnitud de la fuerza de rozamiento entre distintos cuerpos solamente se puede determinar experimentalmente. Por ello se aprieta un cuerpo de prueba con un peso contra una superficie. Al ser esta fuerza que aprieta, perpendicular a la dirección de la superficie de contacto cuerpo/base, se denomina fuerza normal F_N . Si ahora se desliza el cuerpo de prueba sobre la superficie, se origina en las superficies de contacto de los materiales una resistencia a este movimiento. Con un dinamómetro (de resorte) se puede determinar la fuerza opuesta al sentido del movimiento: es la fuerza de rozamiento F_R .

Si se mide la fuerza de rozamiento F_R variando la fuerza normal F_N , se ve que:

La fuerza de rozamiento es proporcional a la componente de la fuerza normal al plano de deslizamiento F_N .

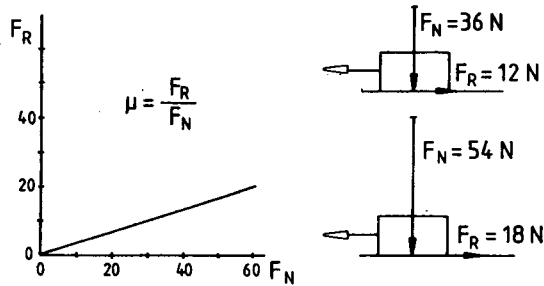


Fig. 7. Fuerza de rozamiento, fuerza normal y coeficiente de rozamiento.

$F_R/F_N = \text{cte}$. Esta constante es el coeficiente de rozamiento μ .

Coeficiente de rozamiento $\mu = \text{fuerza de rozamiento}/\text{fuerza normal}$ $\mu = F_R/F_N$ $\mu = N/N = 1$ (fig. 7).

Más experimentos muestran que:

El coeficiente de rozamiento depende de los materiales de que están compuestas las superficies de deslizamiento.

La fuerza de rozamiento F_R es independiente del tamaño de las superficies de contacto (tabla I).

TABLA I

Materiales	μ
Acero sobre acero (tornillo). Rozamiento de deslizamiento	0,05-0,15
Acero sobre acero (cojinete de bolas). Rozamiento al rodar	0,001
Goma sobre acero (transmisión por correas) Rozamiento de partida o de adherencia	0,2-0,5
plata nueva-bronce (articulación). Rozamiento de adherencia	0,1-0,2

Tipos de rozamiento

Además de los materiales hay que considerar, si la pieza ya está en movimiento o todavía está en reposo. Igualmente hay que tener en cuenta el estado de las superficies de contacto: si están secas o engrasadas.

Se diferencia:

Rozamiento de adherencia: se tiene entre dos cuerpos sólidos en reposo.

Rozamiento de deslizamiento: entre dos cuerpos en contacto, que se mueven en sentido opuesto.

Rozamiento al rodar: entre dos cuerpos que ruedan uno encima del otro.

En general es válido, que el rozamiento de deslizamiento es menor que el rozamiento de adherencia, pero mayor que el rozamiento al rodar.

Un problema común del óptico es la variación del rozamiento en la charnela de la gafa. Por un lado no debe ser tan dura como para provocar una rotura; por otro lado, debido a su uso diario, a menudo se afloja demasiado. Los constructores intentan solventar este problema poniendo un baño de teflón o un recubrimiento de plástico. Con esto se intenta conseguir entre las piezas articuladas un estado de rozamiento definido.

Lubrificación

Las fuerzas de rozamiento se pueden disminuir, pero nunca evitar totalmente. En el funcionamiento de máquinas se pierde parte de la fuerza de accionamiento para superar las fuerzas de rozamiento. El calor que se forma debido a esto puede ser tan elevado, que en un caso extremo pueden causar enormes fenómenos de desgaste. Una disminución de las fuerzas de rozamiento se consigue fundamentalmente por medidas constructivas, como materiales determinados para los cojinetes, tratamiento esmerado de las superficies, construcción especial de cojinetes, cojinetes de fricción, rodamientos, etc.

Efecto de los lubricantes

La utilización de lubricantes adecuados sobre superficies de cojinetes y de deslizamiento, también disminuye la fuerza de rozamiento. Las piezas metálicas son separadas por la película de lubricante adherida. Si ahora se mueven las piezas una respecto a la otra, solamente son desplazadas las partículas dentro de la película lubricante; las superficies del cojinete no se tocan y por tanto el rozamiento y el desgaste son muy pequeños.

El efecto del lubricante se mantendrá, hasta que no se rompa la película. Una característica imprescindible de un lubricante es que forme una película con buena adherencia y que sea muy resistente a cualquier carga.

El usuario está obligado a considerar detalladamente las instrucciones de manejo de instrumentos técnicos y sus indicaciones sobre la adecuada lubricación (fig. 8).

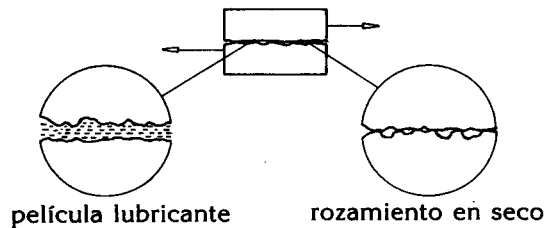


Fig. 8. Efecto de una película lubricante

Palanca y ley de la palanca

Una palanca es una barra rígida apoyada o articulada sobre un punto fijo, llamado fulcro.

Las palancas sirven para vencer una gran fuerza (resistencia) por medio de otra (potencia) que se aplica a un punto de la palanca. Efectos de palanca se pueden observar en herramientas de corte para obtener las fuerzas necesarias para la separación de materiales. De esta misma manera es como también se consiguen las elevadas fuerzas en uniones fijadas por tornillo, por la transmisión de la fuerza de la llave de la tuerca y la amplificación de la fuerza del paso del tornillo. También podemos encontrar efectos de palanca sobre piezas aparentemente sin un centro de giro. Sobre todo a piezas largas y estrechas, como perfiles, vigas, soportes, etc., se les puede aplicar fuerzas de palanca, entre dos puntos de apoyo o en uno de sus extremos. Esta clase de esfuerzo se denomina flexión.

En la gafa también es aplicado un esfuerzo sobre la pieza central por las fuerzas debidas a las varillas y transmitidas por la articulación. Según el diseño, el esfuerzo puede ser considerable. También actúa como una palanca, el apoyo lateral del puente sobre el que actúan las fuerzas de apoyo de la gafa.

Se diferencia y define

En la palanca con un brazo todas las fuerzas son aplicadas a un lado del centro de giro (fulcro) (palanca de segundo género).

En la palanca con dos extremos se aplican fuerzas a ambos lados del centro de giro (palanca de primer género).

El brazo de la palanca es la distancia vertical desde una fuerza al fulcro.

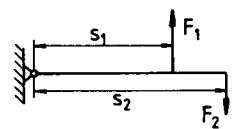
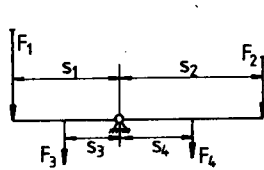
El momento es el producto del brazo de la potencia por la fuerza aquí aplicada.

Momento = fuerza longitud del brazo de la palanca

$$M = F \cdot s$$

$$M = N \cdot m = Nm \text{ (Newtonmetros)}$$

Una palanca estará en equilibrio cuando la suma de los momentos que giran a la izquierda sea igual a la suma de los momentos que giran a la derecha.

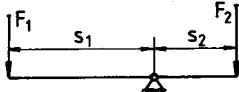


Palanca de un brazo

Ley de la palanca

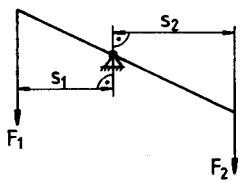
$$\bar{M} = \bar{M}$$

$$F_1 \cdot s_1 + F_3 \cdot s_3 = F_2 \cdot s_2 + F_4 \cdot s_4$$

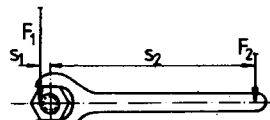


Condición del equilibrio Palanca de dos brazos

Fig. 9



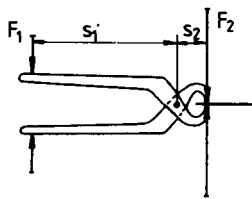
El brazo de la palanca es la distancia vertical de una fuerza al punto de giro.



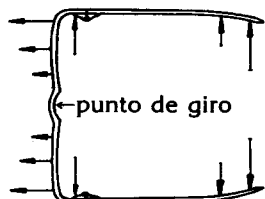
pto. de giro = eje del tornillo
 $F_1 = F$ en el filete
 $s_1 = d/2$ de la rosca
 $F_2 =$ fuerza manual
 $s_2 =$ longitud de la llave

Llave para tuercas como palanca

Fig. 10



Tenazas como palanca de dos brazos



Fuerzas de la varilla que ejercen sobre articulaciones y sobre pieza central.

Fig. 11

Variación del número de vueltas y del momento de la fuerza

Numerosos métodos de trabajo en la óptica ocular exigen máquinas de trabajo que se eligen según el material y la situación de trabajo correspondiente.

Por otra parte, a menudo solamente está garantizada una absorción de energía y un buen suministro de potencia para unos valores concretos del número de revoluciones. Esta consideración exige la conexión de un reductor entre el motor de accionamiento y la máquina de trabajo.

Debido a la relativamente baja potencia de accionamiento de las máquinas que se utilizan en la óptica oftálmica, se impone hoy en día cada vez más un motor con regulación. Con la electrónica moderna se puede regular así, de forma continua y con muy bajas pérdidas, el número de revoluciones del motor.

Relación de transmisión

La relación entre el número de revoluciones inicial (onda accionadora) y el número de revoluciones final (onda accionada) se llama relación de transmisión i .
 $i = n^1/n^2$

Transmisión por correas

En la transmisión por correas se crea una transmisión de fuerzas entre dos poleas por correa. La fuerza centrífuga se transmite por rozamiento entre correa y polea.

Las correas son elásticas y actúan de amortiguador. En caso de sobrecarga se produce un deslizamiento. Junto a la conocida correa trapezoidal se utiliza cada vez más la correa dentada. Está compuesta de poliuretano o neopreno, y tiene cablecillos de acero o fibras de vidrio o reforzamiento, que garantizan una elevada resistencia a la tracción, sin disminuir su disposición a flexionarse. Funciona de forma muy silenciosa y a elevadas velocidades. Debido a la exacta conformación de los dientes, une las características de elasticidad de la transmisión por correas, con las de fiabilidad de arrastre de la transmisión por cadena.

La relación de transmisión de la transmisión por correas viene determinada por el diámetro de las poleas. Como las velocidades de las correas v_1 y v_2 tienen que coincidir, como:

$n_1 = v_1/(d_1 \cdot \pi)$ y $n_2 = v_2/(d_2 \cdot \pi)$ nos da que la relación de transmisión i es:

$i = d_2/d_1$ o $n_1/n_2 = d_2/d_1$ en caso de una transmisión múltiple:

$$i_{tot} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots$$

Tecnología para ópticos

Bases físicas

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología optométrica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

Trabajo, energía y potencia

El trabajo W es igual al producto de la fuerza F por la distancia recorrida s en la dirección de la fuerza.

Unidades

$$W = F \cdot s$$

$$W = N \cdot m = Nm$$

$$1 J = 1 Nm \quad 1 \text{ julio} = 1 \text{ newtonmetro}$$

Si desplazamos un cuerpo con una fuerza $F = 1 N$ una distancia $s = 1 m$ en el sentido de aplicación de la fuerza, tendremos un trabajo de $W = 1$ julio.

La relación entre la dirección de la fuerza y el desplazamiento viene dada por la fórmula general $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$, siendo α el ángulo que forman la fuerza y el sentido del desplazamiento; según muestra la figura 1:

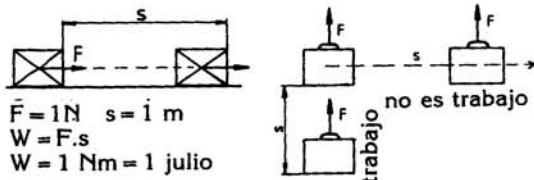


Fig. 1. a) Ejemplo: desplazar un objeto sobre una superficie = trabajo para superar la fuerza de rozamiento. b) Ejemplo: llevar una maleta.

Levantar la maleta del suelo es un trabajo contra la fuerza de la gravedad; desplazarla a una determinada altura, no es trabajo, porque la dirección de la fuerza y del desplazamiento no coinciden. ($\alpha = 90^\circ \rightarrow \cos \alpha = 0 \rightarrow W = 0$).

Según el trabajo realizado se denomina:

- trabajo de elevación
- trabajo de aceleración
- trabajo de rozamiento
- trabajo de muelle
- trabajo contra la fuerza de gravedad
- trabajo contra la masa inerte de un cuerpo
- trabajo contra la fuerza de rozamiento
- trabajo contra la fuerza elástica de un muelle

Energía

Energía es la capacidad de un cuerpo de producir trabajo.

Energía es la «capacidad de producir trabajo» de un cuerpo. Para que un cuerpo tenga energía, tendremos que realizar antes un trabajo. Por tanto, la energía tendrá la misma unidad de medida que el trabajo.

Trabajo y energía tienen la misma unidad de medida «julio».

La energía se puede dividir, igual que el trabajo, en distintas clases:

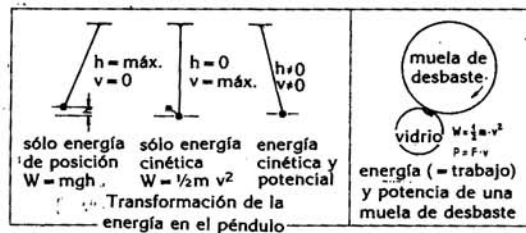
- energía de movimiento (energía cinética)
- energía de posición (energía potencial)
- energía magnética
- energía eléctrica
- energía calorífica
- energía química
- energía atómica (energía de radiación)

En todos los procesos técnicos tiene lugar una transformación de distintas formas de energía.

Ejemplo: Energía calorífica \rightarrow generador \rightarrow energía eléctrica \rightarrow motor \rightarrow energía cinética o energía potencial.

Ejemplo: péndulo; hay un constante cambio entre energía potencial y energía cinética.

En general es válido que la energía no puede ser creada ni destruida. Sólo puede ser transformada de una a otra forma. Normalmente, y con nuestras posibilidades técnicas, cualquier transformación de energía sobre la tierra no es aprovechada totalmente, pues viene acompañada siempre por pérdidas en forma de energía calorífica (fig. 2).



Potencia

Para la valoración de instalaciones de maquinaria no es suficiente saber su capacidad de trabajo. Lo que es decisivo siempre es el tiempo en que realiza una determinada cantidad de trabajo. Para esto se introduce la magnitud de «potencia». El uso cotidiano de la palabra «potencia» corresponde a la definición física: una gran cantidad de trabajo realizada en un período de tiempo corto corresponde a una elevada potencia.

La potencia P (power) es el cociente entre el trabajo realizado W y el tiempo t empleado en realizarlo.

Unidades

$$P = W/t \text{ potencia} = \text{trabajo/tiempo}$$

$$P = Nm/s = J/s = W \text{ (watio)}$$

$$1 \text{ watio} = 1 \text{ newtonmetro/1 segundo} = 1 \text{ julio/1 segundo}$$

Como múltiplo de la unidad watio se utiliza el kilowatio: $1 kW = 1000 \text{ Watios}$

Debido a que en cualquier transformación de energía se «pierde energía» por rozamiento (mejor dicho: se transforma en energía calorífica), la potencia efectiva es siempre menor a la potencia consumida.

La relación entre la potencia útil y la potencia consumida es el rendimiento η .
 $\eta = P_{ef}/P_c$ o en tanto por ciento: $\eta = P_{ef}/P_c \cdot 100\%$

Calor y temperatura

Los términos de calor y temperatura se confunden a menudo en su uso cotidiano, tratándose en realidad de dos magnitudes diferentes.

Los átomos o moléculas de un cuerpo — invisibles para el ojo humano — se encuentran en constante movimiento. La temperatura de un cuerpo aumenta con la velocidad de sus átomos y moléculas. Según la teoría cinética un cuerpo tendrá mayor temperatura cuanto mayor sea la energía cinética ($E_c = \frac{1}{2}mv^2$) de sus moléculas.

La temperatura es una medida de la velocidad de los átomos/moléculas de un cuerpo.
 La temperatura es una magnitud de medida que expresa el nivel térmico (= estado energético) de un cuerpo.

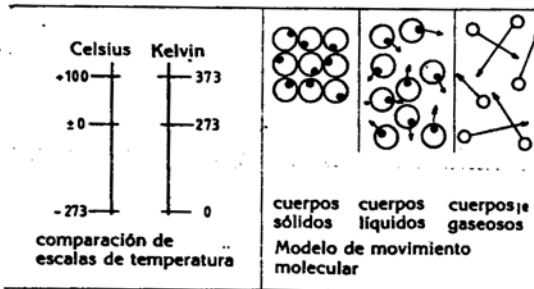
La temperatura se mide con los termómetros. La unidad de la temperatura es el grado Kelvin $^{\circ}K$. Además de la unidad Kelvin, también se utiliza el grado Celsius ($^{\circ}C$). El símbolo de la temperatura es la T (mayúscula).

En muchas fórmulas utilizadas, sólo se ha de introducir la diferencia de temperatura, y ésta es la misma si se mide en grados Celsius, o en Kelvin.

La escala Celsius y la escala Kelvin solamente se diferencian por sus puntos de referencia.

Para la escala Celsius se utiliza el punto de fusión del hielo correspondiente a $0^{\circ}C$, y el de ebullición del agua en condiciones de presión normales, correspondiente a $100^{\circ}C$.

La escala Kelvin comienza a $0^{\circ}K$, correspondiente a la temperatura más baja posible, el llamado cero absoluto. En este punto la velocidad de los átomos/moléculas es igual a cero (fig. 3).



Calor

Calor es la energía de movimiento de las moléculas de un cuerpo.

Como se puede realizar trabajo con la energía de movimiento de las moléculas (ejemplo: movimiento de un émbolo dentro de un cilindro), el calor es una medida del trabajo o de la energía de un cuerpo.

La magnitud calor, o cantidad de calor, es una forma de energía, y tiene la unidad de energía «julio».

El símbolo de la energía (o cantidad) calorífica, es Q.

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$ $m = \text{masa}$

$Q = \text{kg} \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{K} \cdot \Delta t = \text{diferencia de temperatura}$

$Q = J$ (julios) $c = \text{calor específico (características del material)}$

Ejemplo: cantidad de energía necesaria para llevar a ebullición un litro de agua.

calor específico del agua: $c = 4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

diferencia de temperatura: $T = 100^{\circ}$

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$

$Q = 1 \text{ kg} \cdot 4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 100 \text{ K}$

$Q = 419000 \text{ J} \text{ o } 419 \text{ kJ}$

El trabajo o energía necesaria para calentar un litro de agua de 0° a $100^{\circ}C$ es de 419000 julios.

Si se quiere calentar este litro de agua a 100° en un tiempo $t = 3 \text{ min.} = 180 \text{ s}$, será necesaria una potencia P:
 $P = W/t = 419000 \text{ J}/180 \text{ s} = 2328 \text{ vatios} \text{ o } 2,328 \text{ kW}$

Ejemplo: un calentador de gafas («ventilette», tiene una absorción de potencia de 400 W. Para obtener una noción de su rendimiento mecánico, calcularemos la masa de un peso, que se podría elevar un metro en un segundo con esta potencia:

$P = W/t$ siendo $W = m \cdot g \cdot h$

$P = (m \cdot g \cdot h)/t$ despejando la masa m:

$m = P \cdot t / g \cdot h = 400 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} / 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m} = 40,77$

$\text{Nm} \cdot \text{s}^2 / \text{s} \cdot \text{m}^2 \cong \text{kg}$

Efectos del calor

Un aumento de temperatura (= aumento de la energía calorífica de un cuerpo) corresponde a un aumento del movimiento de sus átomos/moléculas. Esto implica la necesidad de un mayor espacio de los átomos «en vibración», y el volumen del cuerpo aumenta.

En general es válido, que un cuerpo se dilata al calentarlo, y se contrae al enfriarlo.

Excepción: agua, que tiene un volumen mayor a $0^{\circ}C$ que a $+4^{\circ}C$.

La variación depende:

- del material del cuerpo
- del volumen o longitud del cuerpo
- de la diferencia de temperatura

Dilatación lineal de un cuerpo sólido

$l_1 = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

Dilatación cúbica de un cuerpo sólido

$V_1 = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$

$V_1 (l_1)$ = Volumen (longitud) a una temperatura T_1

$V_0 (l_0)$ = Volumen (longitud) a una temperatura T_0

ΔT = diferencia de temperatura entre T_0 y T_1

α (γ) = coeficiente de dilatación lineal (cúbico) del material, en $1/K$ entre $0^{\circ}C$ y $100^{\circ}C$

γ es aproximadamente 3α ($\gamma = 3\alpha$)

α y γ son valores característicos de cada material.

Tabla I
 dilatación lineal de materias sólidas
 El valor de α es válido para el intervalo entre $0^{\circ}C$ y $100^{\circ}C$.
 La tercera columna muestra la dilatación en una barra de 1 m al calentarla $100^{\circ}C$.

Materia	α en $1/K$	dilatación en mm
vidrio cuarzo	$0,5 \cdot 10^6$	0,05
vidrio de Jena	$4,5 \cdot 10^6$	0,45
vidrio crown	$9 \cdot 10^6$	0,9-1,1
vidrio flint	$8 \cdot 10^6$	0,8-1,0
acero	$12,0 \cdot 10^6$	1,2
níquel	$13,0 \cdot 10^6$	1,3
oro	$14,2 \cdot 10^6$	1,42
cobre	$16,5 \cdot 10^6$	1,65
plata nueva	$18,0 \cdot 10^6$	1,8
aluminio	$23,8 \cdot 10^6$	2,38
materiales sintéticos utilizados para monturas	$80-150 \cdot 10^6$	8,0-15,0
resina epoxy	$90,0 \cdot 10^6$	9,0

Ejemplo: montaje de un vidrio en una montura de epoxy (nombre de marca, por ejemplo «Optyl»)
 Diferencia de temperatura: de 20°C a 120°C = 100°C = ΔT
 coeficiente de dilatación $\alpha = 90 \cdot 10^{-6}$ 1/K
 longitud extendida del aro de la montura $l_0 = 160$ mm
 $l_1 = 10 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$
 $l_1 = 160 \text{ mm} \cdot (1 + 90 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \text{ K})$
 $l_1 = 160 \text{ mm} \cdot (1 + 9000 \cdot 10^{-6})$
 $l_1 = 160 \text{ mm} \cdot (1 + 0,009)$
 $l_1 = 160 \text{ mm} \cdot 1,009 = 161,44$ mm

La diferencia de longitud es, por tanto, de 1,44 mm; Esta considerable diferencia de longitud no debe tomarse como motivo para adaptar los vidrios demasiado grandes en monturas sintéticas, ya que el material vuelve a contraerse por el mismo valor en que se ha dilatado.

Regla: si se puede introducir aproximadamente la mitad del vidrio en la montura, se puede calentar e introducir el vidrio totalmente.

Ejemplo: dilatación lineal de una montura metálica. plata nueva, $\alpha = 18 \cdot 10^{-6}$ 1/K, longitud $l_0 = 170$ mm diferencia de temperatura $T = 60^\circ\text{C}$ (gafa de sol, que se deja en verano dentro del coche, y expuesto a los rayos solares).

$l_1 = 170 \cdot (1 + 18 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \text{ K})$ mm
 $l_1 = 170 \cdot (1 + 0,00108)$ mm
 $l_1 = 170,184$ mm o 18/100 mm de diferencia de longitud

La diferencia de longitud para esta diferencia de temperatura es de aproximadamente 2/10 mm, es decir, bastante menos que en una montura de material sintético.

Ejemplo: instrumento de medición, calibrado para una temperatura de 20°C.

material del instrumento: acero, $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ 1/K
 diferencia de temperatura: ΔT = 20°C
 longitud media: 200 mm

$l_1 = 200 \text{ mm} \cdot (1 + 12 \cdot 10^{-6} \cdot 20)$
 $l_1 = 200 \text{ mm} \cdot (1,000024)$

$l_1 = 200,048$ mm diferencia: 5/100 mm = 1/20 mm

Esta diferencia está en el límite de exactitud de medida del instrumento.

Un aumento de temperatura de 20°C es fácilmente posible, si el instrumento está cerca de la calefacción o al sol.

Efectos del calor

Otros efectos del calor, de interés para el óptico, aparecen en el oro chapado, en la fabricación del vidrio en general, y especialmente en las piezas fundidas para visión cercana e intermedia en lentes multifocales.

En el chapado en oro se recubre, por deposición al vacío de una fina capa de oro, un núcleo de material no noble. La unión sólo podrá ser duradera si los coeficientes de dilatación de ambos materiales son iguales, o al me-

nos, parecidos. Este es el caso del oro y plata nueva. A esto contribuye la elevada elasticidad de la capa de oro.

Bajo los mismos puntos de vista, se ha de considerar la fusión de piezas de flint (elevado índice de refracción) en la fabricación de bifocales fundidos en vidrios crown de menor índice. Como el vidrio no tiene la elasticidad del oro, los coeficientes han de coincidir exactamente, sino, la consecuencia sería la rotura o como mínimo la aparición de tensiones en el vidrio.

En la fabricación del vidrio hay que prestarle especial atención al enfriamiento del material. Al ser el vidrio un mal conductor del calor, un enfriamiento demasiado brusco causaría la contracción de la superficie sobre un núcleo todavía caliente. Las consecuencias son tensiones, que pueden hacer el vidrio inservible para fines ópticos.

Instrumentos para medir la temperatura

La medición de la temperatura con termómetros se basa esencialmente en los siguientes efectos del calor:

- dilatación lineal y cúbica
- efectos ópticos
- efectos eléctricos (tabla II).

Presión

La presión P expresa la fuerza F que actúa sobre una superficie de área A.

Nos podemos imaginar un cubo (elemento de volumen) con aristas de un metro. Este cubo estará en posición de reposo, si en cada una de sus superficies actúa la misma fuerza. La fuerza que actúa por unidad de superficie (la presión P) se obtiene dividiendo la fuerza de presión F por la superficie de presión A.

presión = fuerza/superficie $P = F/A$

Efectos de la presión

Los efectos de la presión en gases, en líquidos y en sólidos son muy distintos.

Los gases son fácilmente comprimibles, los sólidos tienen un comportamiento frente a la presión muy dispar. Existen materiales muy resistentes a la presión y, otros, que lo son muy poco.

En general, el efecto de la presión sobre materiales sólidos provoca la aparición de tensiones. Estas tensiones no se pueden ver a ojo desnudo, a menos que la presión aplicada sea tan grande que supere la resistencia a la compresión del material. La consecuencia sería una rotura visible.

Tensiones en un material transparente se pueden hacer visibles con el polariscopio. Para el óptico son de especial interés las tensiones que aparecen en el vidrio.

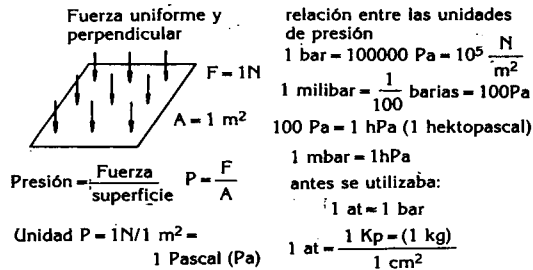
Tabla II

método	principio de funcionamiento	ejemplo
termómetro de líquidos	variación del volumen de líquidos	termómetro de alcohol, tolueno mercurio
termómetros bimetalicos	una vara metálica formada por 2 varillas metálicas bien unidas, se dobla al calentarse, debido a la diferencia entre los coeficientes de dilatación de ambos metales, y acciona una aguja indicadora	aleaciones latón/aceros inoxidables níquel/manganeso/hierro
termómetros eléctricos	variación de la resistencia eléctrica de un material con la temperatura Elemento termoeléctrico: (termopar) Variación de la corriente a través de la unión de dos metales distintos.	aleaciones platino/platino resistencias NTC cobre/constantano, níquel/níquelcromo
termómetros ópticos	medida de la radiación emitida por un cuerpo incandescente	pirómetro de la radiación, como medidor parcial o total de radiación

Unidades de presión

En el SI, la unidad de presión es el Pascal (símbolo: Pa).

1 Pa es la presión ejercida por la fuerza $F = 1\text{ N}$, que actúa perpendicular y uniformemente sobre una superficie $A = 1\text{ m}^2$.



Como 1 Pa es una unidad muy pequeña (corresponde a un peso de 100 g repartido sobre 1 m^2), se introdujo una unidad de presión mayor denominada baria (símbolo: bar)
 $1\text{ bar} = 100.000\text{ Pa} = 10^5\text{ Pa} = 10^5\text{ N/m}^2$
 1 bar corresponde aproximadamente a 1 atmósfera o 1 at. unidad todavía hoy utilizada, pero no admisible.
 $1\text{ bar} = 1\text{ at} = 1\text{ kg} = (1\text{ kg})\text{ pro } 1\text{ cm}^2$

En meteorología, una unidad muy utilizada es la milésima parte de un bar, el milibar (símbolo: 1 mbar).

Un milibar corresponde a 100 Pascal; según la norma se debería utilizar ahora como 1 hectopascal (hPa). El valor numérico indicado en hectopascal es igual al valor numérico indicado en milibares.

Ejemplo: presión normal: $1013\text{ mbar} = 1013\text{ hPa} = 1,013\text{ bar}$

Ejemplo: resistencia del vidrio a la presión es de 800 a 2000 N/mm^2

La punta de un destornillador (o punzón) de $A = 1\text{ mm}^2$ presiona con una fuerza $F = 100\text{ N}$ sobre una lente. Calcular la presión $P = 100/1\text{ N/mm}^2 = 100\text{ N/mm}^2$

Consecuencia: tensiones en el vidrio. El aro de una montura (metálica) con una superficie de presión parecida, también producirá las mismas tensiones.

Con la misma fuerza F aprieta la punta de la rulina de $A = 1/10\text{ mm}^2$ sobre el vidrio.
 $P = 100/1/10\text{ N/mm}^2 = 1000\text{ N/mm}^2$

Consecuencia: elevadas tensiones, resquebramiento y grietas en el vidrio.

Se observa que es mucho más decisiva para la magnitud de la presión la superficie A , que la fuerza F que actúa sobre ésta.

Debido a la forma del aro de la montura y del bisel del vidrio, actúan a menudo entre ambos, elevadas presiones (= tensiones).

Presión sobre la lente. Causa de tensiones.

1) La lente tiene mayor tamaño que el aro de la montura.

Un aro de una montura metálica, cerrado y atornillado a la fuerza, puede ejercer considerables tensiones de compresión sobre la lente. La causa de esto es la elevada resistencia a la tracción del aro metálico, que puede soportar y transmitir elevadas fuerzas. Según el esfuerzo, es posible y hasta probable, un lascado del bisel en los puntos de más tensión.

2) Vidrio y aro tienen distinta forma.

La consecuencia de una forma desigual es una irregular distribución de la presión sobre el bisel y sobre la lente. Es posible la aparición de lascas, y probable la aparición de tensiones.

3) Desigual curva entre la lente y la montura.

La consecuencia de una insuficiente curvatura del aro, produce tensiones sobre el bisel y consecuentemente sobre la lente.

4) Ángulo del bisel inadecuado.

El ángulo del bisel debería tener un valor de 120° ; si esto no es el caso, el aro de la montura presionará solamente sobre la punta del bisel, o solamente sobre los bordes del bisel. La presión puede ser tan grande, que la rotura o el resquebramiento del bisel es casi inevitable.

5) Bisel está roto en algunos puntos.

También aquí la montura presionará en algunos puntos sólo sobre la punta del bisel, o sólo sobre su superficie lateral.

6) Rotura del vidrio debido a un mal desbaste con las alicates.

Si el desbaste no se hace correctamente, el vidrio se puede romper. La rotura típica va de un lado a otro del vidrio.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología optométrica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

Bases químicas

La química estudia los cambios sustanciales, describe la estructura y las propiedades de la materia, y sus enlaces.

Toda la materia está constituida por unas sustancias simples llamadas elementos. En la naturaleza existen 92 elementos, pero la física atómica es capaz de obtener artificialmente algunos más.

Los elementos están presentes sobre la tierra en diferentes cantidades. La mitad de la corteza terrestre sólida está constituida por el elemento oxígeno, un cuarto por silicio (arena). Otros 83 elementos, sustancias técnicamente importantes para nosotros, constituyen juntos un 1,4 %.

Toda la materia está constituida por sustancias simples, los elementos químicos. Los elementos no se pueden dividir químicamente en más partes.

Cada elemento tiene un nombre, y está representado por un símbolo. El símbolo (letra o letras), deriva del nombre latino del elemento:

Hidrógeno	= hydrogenium	= H
Oxígeno	= oxigenium	= O
Carbono	= carboneum	= C
Hierro	= ferrum	= Fe

Aproximadamente 70 elementos tienen unas propiedades en común, y se denominan metales. Sus características son:

- superficie brillante
- buena conductividad térmica
- buena conductividad eléctrica
- elevada tenacidad y dureza

Los metales se dividen tradicionalmente en metales ferrosos y no ferrosos, como también según su densidad menor o mayor a 5 g/cm³, en metales ligeros y metales pesados

Los otros elementos se denominan metaloides (o no metales). Entre estos tienen especial importancia el carbono, el oxígeno y el hidrógeno. El carbono es la base de toda la materia de la naturaleza orgánica y de la materia sintética moderna. El oxígeno es nuestro elemento de respiración, y junto con el hidrógeno forma el agua.

Constitución de los elementos

Para entender la constitución de los elementos, nos imaginamos la división de un elemento hasta su parte más pequeña. Esta partícula químicamente indivisible, se denomina átomo. Cada elemento tiene su propio tipo de átomo.

El átomo es la parte más pequeña de un elemento

El proceso de división sólo es posible mentalmente. La idea de la constitución de los átomos se denomina modelo. Un «modelo» no es una imagen reducida de la realidad, como por ejemplo un coche de juguete en relación con un coche real. Es más bien una imagen más comprensible de relaciones complicadas. El átomo nos lo podemos imaginar constituido por más partículas. Las tres más importantes son:

- protón —partícula cargada positivamente
- electrón —partícula cargada negativamente
- neutrón —partícula eléctricamente neutra

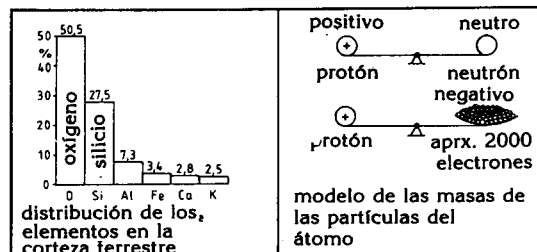


Fig. 1.

Las partículas no sólo se diferencian por su carga, sino que también por su masa y su distribución. Los protones y los neutrones tienen un peso similar y juntos constituyen el núcleo atómico.

Un electrón sólo posee aproximadamente 1/2000 de la masa de un protón/neutrón. Los electrones constituyen la corteza nuclear. Se mueven a elevada velocidad alrededor del núcleo según distintas órbitas. Estas trayectorias orbitales —capas— se designan, empezando por dentro, con las letras K, L, M, N, O, P y Q.

El equilibrio entre núcleo y corteza se basa en:

- las fuerzas eléctricas de atracción entre los protones del núcleo y los electrones de las capas,
- las fuerzas eléctricas de repulsión entre los electrones de las capas.

El átomo es eléctricamente neutro

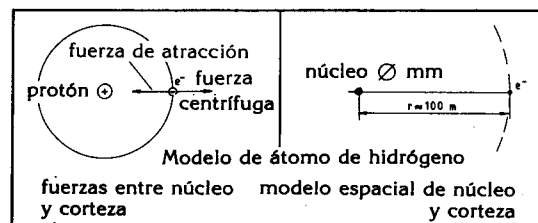


Fig. 2

Pero estos modelos atómicos antiguos no pueden explicar muchos fenómenos. Conocimientos científicos esenciales como la obtención y rotura de enlaces basadas en la interacción entre cargas, tampoco se pueden explicar con estos modelos.

La importancia del modelo atómico de Bohr se debe a su especial claridad. Según Bohr, la ocupación de las distintas capas por electrones está restringida: la capa (o nivel) K más interna puede estar ocupada por un máximo de dos electrones, el nivel L por 8 electrones, y así sucesivamente va aumentando a medida que nos separamos del núcleo.

Ejemplo: El átomo de hidrógeno tiene la estructura más sencilla y la masa atómica más pequeña. Su núcleo está

constituido por un sólo protón, cuya carga positiva es compensada por un solo electrón. Si no existiera movimiento alrededor del núcleo, es decir, sin fuerza centrífuga, el electrón debería caer dentro del núcleo y ser neutralizado.

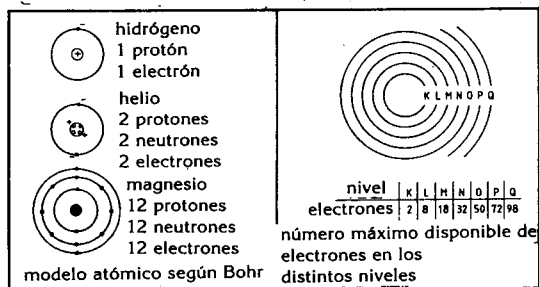


Fig. 3

Emisión de luz

La emisión de luz se puede explicar, según el modelo atómico de Bohr, de la siguiente manera:

Órbitas próximas al núcleo atómico tienen un nivel energético relativamente bajo. Órbitas más externas sólo pueden ser ocupadas por electrones con mayor energía. Entre las distintas órbitas se encuentran «zonas prohibidas», que no pueden ser ocupadas por electrones. Además, según Bohr, los distintos niveles (órbitas) no tienen por qué estar continuamente ocupados por electrones. Si un electrón absorbe energía —por ej. en forma de calor— puede saltar por un tiempo corto a una órbita de nivel energético mayor (más externa). El electrón puede volver a su órbita anterior en un tiempo cortísimo (10^{-8} a 10^{-9} seg.), en donde necesitará menos energía que desprenderá en forma de cuanto de luz. Estas transiciones no transcurren de forma continua, sino en forma de saltos.

Por sucesivas y rápidas repeticiones de este proceso en múltiples átomos, se origina, según este modelo, luz.

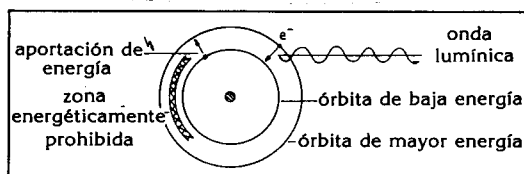


Fig. 4. Modelo del origen de la luz

Enlaces químicos, moléculas e iones

Sobre la tierra existen algunos millones de compuestos diferentes; se forman por la unión de varios átomos de distintos elementos. Estos nuevos compuestos tienen propiedades completamente distintas a la de los elementos que lo constituyen. Esta unión se denomina enlace químico.

Ejemplo: El agua es un enlace químico entre átomos de hidrógeno y de oxígeno. La partícula más pequeña del agua está constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. A esta partícula se le denomina molécula de agua. Cada compuesto químico tiene su propia molécula característica.

Una molécula es la parte más pequeña de una combinación química. Está compuesta por varios átomos, pero tiene otras propiedades que los átomos constituyentes.

Otra forma de enlaces es por iones. Iones son átomos o partes moleculares cargadas eléctricamente.

Ejemplo: Cloruro sódico (NaCl) es un enlace de los elementos sodio y cloro. Está constituido por iones sodio e iones cloro, que forman según una estructura regular, una red cristalina. Los iones se atraen mutuamente, porque el sodio es eléctricamente positivo y el ión cloro es eléctricamente negativo.

También hay que mencionar, que algunos elementos no pueden existir en forma de átomos sueltos, sino que tienen que ser representados en forma de molécula. Esto es el caso p. ej. del hidrógeno H_2 o del cloro Cl_2 .

Mezcla

Una mezcla es el conjunto de por lo menos dos elementos con una relación de mezcla cualquiera. No hay unión química y se puede separar por métodos físicos.

Una mezcla de sulfuro y polvo de hierro se puede dividir en sus dos componentes por métodos físicos (imán). De gran importancia técnica son las mezclas metálicas, que se denominan aleaciones. El acero es una de estas aleaciones de carburos de hierro, hierro y otros elementos.

Las mezclas pueden ser homogéneas y o heterogéneas.

Una mezcla homogénea está tan bien mezclada que no se pueden distinguir sus componentes ni con el microscopio.

Ej.: agua salada, agua azucarada, etc

Otro ejemplo: vidrio. En el caso ideal el vidrio es una mezcla completamente homogénea de silicato de sodio y calcio.

En mezclas heterogéneas se pueden distinguir a menu-do sus componentes a simple vista.

Ej.: niebla, vapor de agua disuelto en aire; o leche, grasa disuelta en agua.

Separación de mezclas

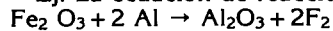
Los componentes de mezclas se pueden separar fácilmente debido a diferentes propiedades físicas y químicas. Los métodos de separación más comunes son: tamizado, filtrado, destilado y otros métodos físicos sencillos.

Ecuación de reacción

En reacciones químicas se forman nuevos compuestos con propiedades completamente distintas. Para describir estos cambios de una forma corta y exacta, se establece una ecuación de reacción. Para esto se utilizan solamente las masas mínimas de los componentes iniciales y finales; pero no se describen las nuevas propiedades de los componentes.

Es importante la formulación del elemento o del compuesto. Un signo de adición indica los elementos que reaccionan; una flecha indica el sentido en que tiene lugar la reacción. De esta manera puede formarse un nuevo compuesto, a partir de unos elementos, o, un compuesto ya existente puede romperse en partes. El número que acompaña al símbolo del elemento indica el número de átomos del elemento que constituye la molécula.

Ej. La ecuación de reacción



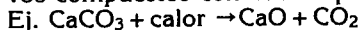
describe el efecto que tiene el aluminio sobre el óxido de hierro.

Obtenemos como productos: hierro y Fe y óxido de aluminio Al_2O_3 .

Análisis y síntesis

El análisis es el proceso químico, en el cual un compuesto se descompone en sus componentes (elementos, o compuestos más sencillos)

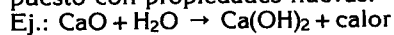
A partir de un compuesto se forman así dos o más nuevos compuestos con nuevas propiedades.



Si se calienta calcita (CaCO_3), obtenemos óxido de calcio y dióxido de carbono.

Síntesis es la formación de un compuesto a partir de sus elementos o de compuestos más sencillos

Bajo fabricación sintética se entiende también la obtención «artificial» de sustancias naturales. En general se obtiene por síntesis de dos o más compuestos, un nuevo compuesto con propiedades nuevas.



Se se añade a la cal viva (CaO), agua, se obtiene por reacción química el compuesto nuevo, hidróxido de calcio Ca(OH)_2 (cal muerta o apagada) y energía calorífica.

Tipos de enlace

El enlace entre átomos se debe generalmente a la solapación de los electrones de la capa más externa. La fuerza de enlace se basa en el afán de los átomos por obtener una estructura exterior parecida a la de los gases nobles. Dichos gases tienen en su capa más alejada 8 electrones. Esta configuración da una gran estabilidad a una molécula.

El enlace iónico

Generalmente se unen por enlace iónico átomos metálicos con átomos no metálicos, por ejemplo minerales y sales.

Los átomos metálicos son los que ceden sus electrones de su capa externa a los átomos no metálicos. El equilibrio entre los protones positivos en el núcleo y los electrones negativos de las capas, está roto; se forma un ión metálico cargado positivamente.

Por otro lado, el ión no-metálico acepta los electrones negativos y se convierte en un ión no-metálico cargado negativamente. Iones cargados positiva- y negativamente se atraen: se forma el enlace iónico.

Ej: (Un átomo de berilio se une con un átomo de oxígeno para formar óxido de berilio. El metal berilio cede sus dos electrones externos y se convierte en ión metálico cargado 2 veces positivamente. El átomo de oxígeno llena su capa externa con estos dos electrones y se convierte en un ión oxígeno (2 veces negativo). El ión berilio y el ión oxígeno se atraen mutuamente, se forma el enlace óxido de berilio.

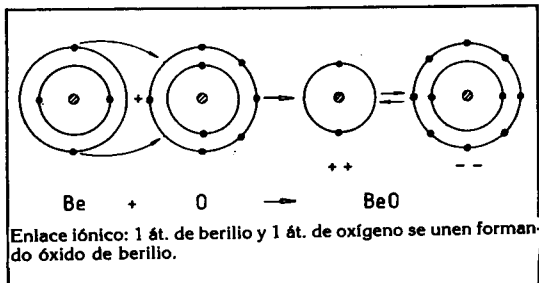


Fig. 5.

Las fuerzas de atracción de los iones no están dirigidas sólo de un ión al otro, sino que su efecto es hacia todas las direcciones. El campo eléctrico actúa homogéneamente en todas las direcciones. Los iones intentan por eso, rodearse con el máximo número de iones de carga opuesta.

Debido a esta ordenación regular forzosa de los iones positivos y negativos, se forma una estructura regular, un cristal (o red cristalina). La red cristalina del cloruro sódico sólo es posible verla con ayuda de una lupa.

Propiedades típicas de un cristal son:

- elevada resistencia mecánica y elevado punto de fusión.

- gran fragilidad.

- conductividad eléctrica y descomposición química por corriente eléctrica.

Por actuación de fuerzas externas sobre el cristal, hay un desplazamiento de capas que hace que iones de igual carga coincidan. Estos iones se repelen. Por eso, elementos de cristales iónicos son frágiles y no se pueden deformar.

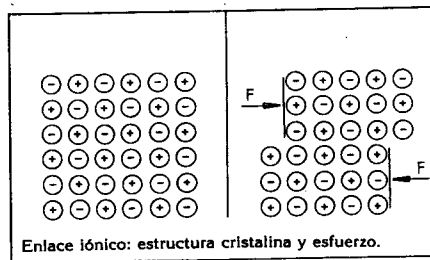


Fig. 6. La carga eléctrica de cada ión ejerce elevadas fuerzas de atracción sobre los iones vecinos de carga opuesta; y fuerzas de repulsión sobre los iones de igual carga situados a mayor distancia. La estructura cristalina con su típica estabilidad mecánica se basa en el equilibrio entre las fuerzas de atracción y las de repulsión. Pequeños corrimientos a lo largo del plano de la malla, llevan iones con cargas de igual signo uno al lado de otro, con lo que se repelen. La estructura cristalina está rota, el cristal hendido.

El enlace metálico

Los metales se unen entre sí, cediendo los electrones de su capa externa.

De esta manera se forman iones metálicos cargados positivamente, que están rodeados por «nubes» de electrones, que se mueven libremente a través del cristal (gas electrónico). Cada átomo metálico dispone de 1 o 2 electrones exteriores de gran movilidad, similar a la de las moléculas de un gas. Su carga negativa compensa la carga positiva de los iones metálicos. Debido a la interacción de las cargas eléctricas se forma, de manera parecida al enlace iónico, una estructura cristalina.

Como todos los iones metálicos tienen carga positiva, se pueden desplazar fácilmente las distintas capas entre sí. Esto se demuestra en la buena maleabilidad de los metales. Por otra parte, el libre movimiento de los electrones es la causa de la buena conductividad eléctrica y térmica de los metales.

Los átomos metálicos pueden, a diferencia de los iones de sales o los cristales, formar redes cristalinas especiales. Se les llama la forma máxima de densidad. Cada átomo se rodea con tantos átomos como sea geométricamente posible. Estos átomos metálicos tienen todas formas esféricas. La consecuencia son estas otras típicas propiedades metálicas:

- maleabilidad metálica

- capacidad de formar aleaciones.

El carácter metálico de cada elemento está determinado básicamente por el número de los electrones libres. Por eso, es por ej. el aluminio de valencia 3, más duro que el calcio de valencia dos.

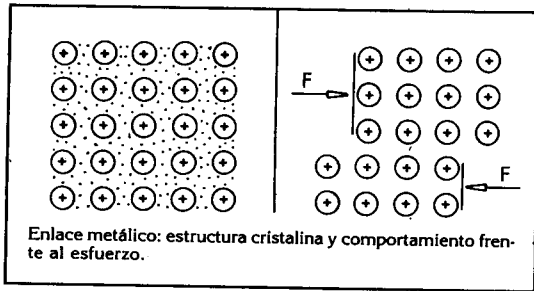


Fig. 7. En las mallas cristalinas de un metal el gas electrónico hace que el enlace entre los át. metálicos sea muy consistente. Si se aplica un esfuerzo, un ligero desplazamiento a lo largo del plano de la malla nos altera de forma importante las atracciones dentro de un material.

Estructura de los metales

La estructura regular de los átomos en metales se denomina cristalina. La mayoría de no-metales tienen una estructura no regular —amorfa.

La estructura cristalina de un metal se explica mejor con el proceso de solidificación de un caldo metálico. En la fusión, los iones metálicos se mueven rápidamente y de forma desordenada. Si se enfría la masa en fusión, los movimientos de los iones metálicos se hacen más lentos, y las fuerzas de atracción entre los iones y los electrones, más efectivos. Los iones metálicos se acumulan simultáneamente en diversos puntos de la masa en fusión. Punto de partida puede ser uno propio o uno externo, como una impureza.

A medida que avanza la solidificación, los cristales chocan entre sí. El proceso de cristalización termina aquí. Las formas obtenidas, son cristalitas o granos, sus líneas de contacto se denominan límites del grano. Si se pule un trozo de metal y se ataca con ácido, entonces se puede reconocer a través del microscopio, en micrografía, los granos y sus límites. El tamaño de grano depende entre otros de la velocidad de enfriamiento:

- enfriamiento rápido lleva a la formación de granos pequeños.
- enfriamiento lento a granos mayores.

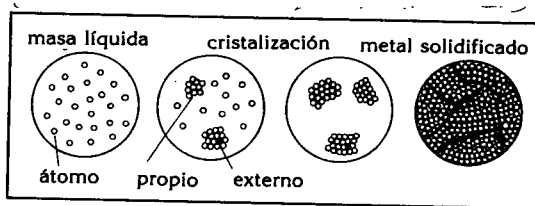


Fig. 8. Proceso de solidificación de un metal puro.

Típico para un metal puro es que la temperatura se mantenga constante desde el principio hasta el final del enfriamiento. La explicación de esto está en la necesidad de energía de un ión metálico. Si el ión metálico, con libertad de movimiento, pasa a ocupar un lugar en el cristal, puede ceder el resto de su energía de movimiento (energía cinética), porque dentro del cristal su requerimiento energético es menor. Esta cantidad de calor cedida es suficiente para mantener el equilibrio con el enfriamiento exterior hasta que se haya solidificado toda la masa. Se habla del punto de paro del metal puro.

La estructura metálica está constituida por el conjunto de cristales. Los cristales se denominan granos, los límites entre ellos, límites del grano.

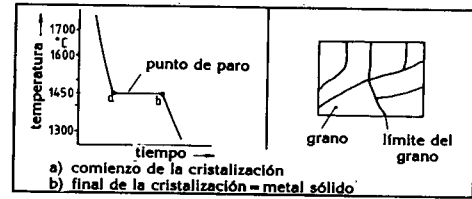


Fig. 9. Curva de solidificación y micrografía en un metal puro (níquel).

Estructura de la red

La ordenación de los iones metálicos dentro de un cristal es típica de cada metal. Imaginándose los núcleos de los iones metálicos, se obtiene un sistema geométrico regular, que se denomina malla. La estructura más sencilla de una malla sería la de un cubo. Pero no hay ningún metal que cristalice según esta estructura.

Los tipos de redes más comunes son:

- red cúbica centrada en el cuerpo
- red cúbica centrada en las caras
- hexagonal

Red cúbica centrada en el cuerpo

Esta red corresponde a un cubo, cuyos 8 vértices los determinan 8 iones metálicos. En el medio del cubo se encuentra otro ión. Este ión es el que da la elevada estabilidad a esta red. Metales con esta estructura son p. ej. molibdeno, vanadio, cromo, así como hierro a temperaturas bajas.

Red cúbica centrada en las caras

Este tipo de red también corresponde a un cubo con 8 iones metálicos en sus vértices; además se encuentra en el centro de cada cara del cubo otro ión. En total son pues 14 iones los que componen esta malla. El gran número de iones da muchas posibilidades de desplazarse uno respecto al otro, en caso de un esfuerzo. Se habla de muchos planos de deslizamiento, que significan una fácil maleabilidad de los siguientes metales: aluminio, plomo, cobre, plata, oro, así como hierro a elevadas temperaturas.

Red hexagonal

El modelo de esta red es el panal de abejas. Seis iones metálicos ocupan la superficie hexagonal inferior, y otros 6, la superior. Además hay otro ión en cada centro de estas superficies. Entre las dos superficies todavía hay otros 3 iones; en total son por tanto necesarios 17 iones para cada célula hexagonal. Metales con estructura de red hexagonal son: magnesio, titanio, zinc.

Los distintos tipos de redes significan distintas propiedades de los metales, sobre todo en la maleabilidad y el tratamiento térmico. Metales con redes hexagonales son especialmente frágiles y difíciles de conformar; redes metálicas cúbicas centradas en las caras son fácilmente conformables, porque es la malla que posee más planos de deslizamiento; redes metálicas cúbicas centradas en las caras son también altamente resistentes sin ser quebradizas.

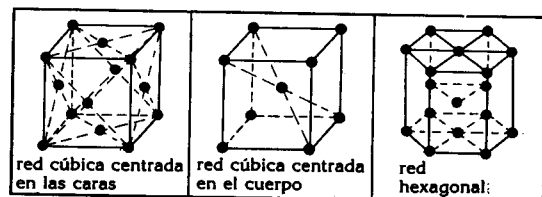


Fig. 10. Estructura de las redes metálicas.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología optométrica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

Bases químicas

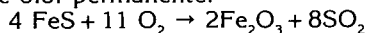
Ácidos y bases

Los ácidos son una combinación de un óxido no metálico con agua. Lo normal es que estén compuestos por hidrógeno y un radical ácido.

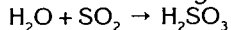
Este nombre es debido a que algunos ácidos tienen sabor "ácido". Las disoluciones ácidas colorean de rojo el papel azul de tornasol.

Ejemplos de la formación de un ácido

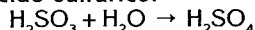
En la combustión del azufre, éste se combina con el oxígeno, formando dióxido de azufre SO_2 , un gas incoloro y de olor permanente.



Si se disuelve el gas en agua se forma ácido sulfuroso.



Una propiedad determinante del ácido sulfuroso es su efecto reductor, con lo que éste ácido se oxida formando ácido sulfúrico.



Propiedades del ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un líquido incoloro, aceitoso, pesado, que ataca a muchos metales. Es fuertemente higroscópico (deshidratante) y también se utiliza como método de secado. Produce rápidamente agujeros sobre las prendas de vestir y es fuertemente cáustico sobre la piel.

Utilización: El ácido sulfúrico se utiliza en una disolución del 10 % para la limpieza de las soldaduras. (Esta misma disolución tiene también aplicación en los acumuladores de plomo de los automóviles). La capa vidriosa de la soldadura será eliminada en pocos minutos, desapareciendo también las pequeñas manchas de óxido. Los restos del ácido deberán ser eliminados a continuación con abundante agua.

En la preparación de la disolución, el ácido sulfúrico deberá ser añadido siempre y con cuidado al agua, ¡nunca al revés! La adición de agua al ácido produce un fuerte calentamiento y salpica ácido.

Ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico (HCl) es incoloro algo amarillento, de olor penetrante y humea el aire. Por esto siempre hay que cerrar herméticamente el frasco que lo contiene. Es un ácido que no contiene Oxígeno, pues está compuesto por Hidrógeno (H) y el no-metal Cloro (Cl).

Ácido nítrico

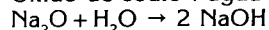
El ácido nítrico (HNO_3) tiene un comportamiento parecido al del ácido clorhídrico. Ataca todos los metales menos al oro y al platino.

Bases

Las bases son combinaciones de un átomo metálico con uno o más grupos OH.

En el estado saturado se habla de base. Las bases colorean de azul el papel rojo de tornasol. Son jabonosas al tacto y tiene efecto cáustico.

Oxido de sodio + agua = Hidróxido de sodio



Utilización de las bases: Desengrasar metales y limpieza de gafas. Hidróxido de sodio (NaOH): Tiene una fuerte acción cáustica. Ataca la piel.

Solución de hidróxido amónico (amoníaco líquido) (NH_4OH): Tiene una acción más suave. Sirve, diluido, para la limpieza de gafas. Potasa cáustica (KOH): Contenido en el soplete para la soldadura oxhídrica.

Medidas de seguridad para la manipulación de ácidos y bases

— Ácidos y bases sólo deben ser almacenados en los recipientes previstos para ello. Los recipientes han de estar debidamente señalizados.

— Nunca rellenar botellas de bebida con ácidos o bases. Peligro de muerte!

— En caso de quemadura, lavar con abundante agua clara!

— Mantener cerradas las botellas, ya que los vapores pueden dañar las vías respiratorias, ojos y piel.

— Para la disolución, verter siempre el ácido en el agua, nunca al revés.

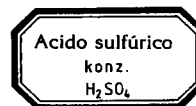


Fig. 1. Señalización reglamentaria de una botella de ácido.

Oxígeno

El oxígeno no es solamente un componente del gas que respiramos, el aire, sino también de muchos compuestos orgánicos e inorgánicos. Se calcula que su participación en el peso total de todas las sustancias es del 50 %.

El gas aire contiene, como mezcla gaseosa, aproximadamente un 20 % de oxígeno, el 80 % restante es hidrógeno, así como gases nobles y dióxido de carbono en una cantidad de aproximadamente un 1 %.

El oxígeno que se utiliza en la técnica se prepara según el método Linde, a partir de aire líquido. Como oxígeno puro se llena en estado gaseoso, bajo una presión de 100 a 150 bar, en botellas de acero. Con ayuda de una válvula reductora de presión, se puede sacar el gas con una ligera sobrepresión.

La técnica de la descomposición y licuación del aire, demuestra que el aire es una mezcla y no una combinación.

El oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, cuyo punto de ebullición es de -183°C . El gas sólo no es combustible, pero es necesario para cualquier proceso de combustión. Se combina con diferente rapidez con otras sustancias. Con especial facilidad reacciona el oxígeno con metales, porque estos poseen en su capa más externa pocos electrones. En cambio, el oxígeno posee en su capa más externa, la segunda, 6 electrones y por tanto sólo necesita 2 electrones para poseer una capa estable de 8 electrones.

Oxidación

La combinación del oxígeno con otras sustancias se denomina oxidación, las combinaciones formadas, óxidos. Una oxidación que tiene lugar muy rápidamente se denomina combustión.

Ejemplos:
 $2 \text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CuO}$ óxido de cobre
 $2 \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3$ óxido de hierro, marrón
 $2 \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$ óxido de hierro marrón oscuro

Por regla general, se acelera la oxidación, aumentando la temperatura.

La oxidación en el proceso de soldadura se evita cubriendo la zona soldada, por ejemplo, con una disolución de borax.

Reducción

Los procesos químicos, en los que se extrae oxígeno a óxidos, se denominan reducciones.

En el caso de fuerzas de enlace pequeñas, esto ocurre por disolución (desprendimiento) del oxígeno. En el caso de fuerzas de enlace mayores, por extracción.

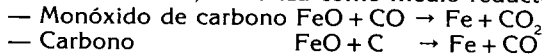
Ejemplos:
Óxido de mercurio \rightarrow mercurio + oxígeno (disolución)
Óxido de cobre + hierro \rightarrow óxido de hierro + cobre (extracción).

El proceso de la reducción es tecnológicamente de igual importancia que la oxidación; generalmente ambos procesos tienen lugar simultáneamente.

Típica es la reducción de minerales (metales oxidados) a metal puro.

Para esto el medio reductor debe tener mayor afinidad (una mayor tendencia a combinarse) al oxígeno que el metal a reducir.

En el alto horno, se utiliza como medio reductor:



Las materias oxidadas se hacen más pesadas, el peso y el volumen del aire implicado disminuyen. Pero, la disminución de peso del aire es igual al que ha aumentado la sustancia oxidada.

En todos los procesos químicos, el peso total de las sustancias reaccionantes se mantiene, esto es, la ley de la conservación de la masa (Teorema de Lavoisier).

Hidrógeno

El hidrógeno para fines técnicos se obtiene:

- a partir de gas natural y vapor de agua a temperatura aproximada de 900 °C.
- por reducción del agua por brasas.
- por electrólisis.
- a partir de ácidos y metales no-nobles.

El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, cuyo punto de ebullición está a -253 °C. Es el elemento más ligero (gas para globos), arde, pero sólo no mantiene la combustión.

Utilización

El hidrógeno se utiliza generalmente como gas combustible, porque se puede producir en grandes cantidades sin grandes costos. Además, produce en combustión con el oxígeno una temperatura de combustión elevada (hasta 2400 °C). En Óptica se utiliza el hidrógeno en el soplete para soldadura oxhídrica.

Soldadura oxhídrica

Este soplete para soldadura trabaja sobre la base de la conductividad de un electrólito. Se entiende por esto a una disolución acuosa de ácidos, bases y sales, que sufre una variación química debido al flujo de corriente. La conductividad eléctrica se basa en la migración de átomos o grupos de átomos cargados eléctricamente que se denominan iones (del griego: migrar) Los iones cargados positivamente migran al polo negativo (cátodo) y los cargados negativamente al positivo (ánodo).

Los iones se descargan en el polo donde las sustancias sin carga se separan. Pero en muchos casos, se producen reacciones secundarias, porque el producto producido en el polo sigue reaccionando con el agua.

En el soplete para soldadura oxhídrica se utiliza potasa cáustica como conductor de la corriente, para que el agua destilada se pueda disociar en hidrógeno y oxígeno.

Representación esquemática de los procesos químicos que tienen lugar:

- 1) Disociación electrónica
 $2 \text{KOH} \rightarrow 2 \text{K}^+ + 2 (\text{OH})^-$
- 2) Reacción en el cátodo
 - a) Primaria $2 \text{K}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{K}_2$ 2 K
 - b) Secundaria $2 \text{K} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2 + \text{H}_2$ (hidrógeno gaseoso)
- 3) Reacción en el ánodo
 $2 (\text{OH})^- \rightarrow 2 (\text{OH}) + 2 \text{e}^-$
 $2 (\text{OH}) \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2$ (oxígeno gaseoso)

El producto de la reacción es gas detonante: mezcla de H y O en relación 2:1.

Importante: La potasa cáustica no se consume, sólo hay que rellenar el agua destilada consumida.

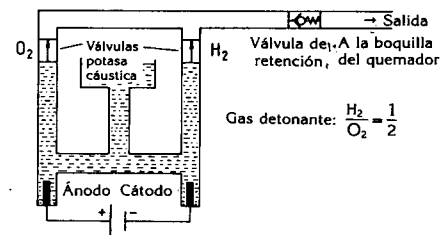


Fig. 2. Disociación electrolítica del agua en hidrógeno y oxígeno

Silicio

El Silicio representa la mitad de los componentes de la corteza terrestre sólida. Está presente sólo en combinación, p.ej. arena de cuarzo, feldespato o cristal de roca. El silicio elemental, que tiene importancia para la industria de la electrónica, se obtiene a partir de la arena de cuarzo.

El Silicio se combina sobre todo con oxígeno, carbono y metales. El carburo de silicio (SiC) se produce por calentamiento de carbono y arena de cuarzo en el horno eléctrico y es térmica y mecánicamente muy estable acercándose en cuanto a dureza y estructura, al diamante. Bajo el nombre de Carburundum se utiliza en la técnica del metal y de la óptica ocular como medio de desbaste, revistiendo los útiles de desbaste.

Corrosión

Un problema muy molesto con el que se ve confrontado el usuario de gafas y el fabricante de monturas (y en su sustitución el óptico) es la corrosión de las monturas.

metálicas. Como las causas y las reacciones pueden ser de distinta índole, solamente se hablará de los puntos más importantes.

Corrosión es la alteración perjudicial iniciada en la superficie de un material.

Las formas más conocidas en las que se presenta la corrosión es la oxidación del hierro, ennegrecimiento de la plata, descomposición del estaño (peste del estaño). Económicamente se producen por corrosión pérdidas por valor de miles de millones.

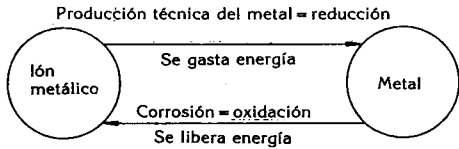


Fig. 3.

La corrosión se divide en: Corrosión química, electroquímica, intercrystalina y por agrietamiento.

Corrosión química

Gases secos, como por ejemplo el oxígeno o el cloro, que fácilmente reaccionan químicamente con los metales, atacan su superficie. Típica es la corrosión por gases calientes. Las combinaciones más frecuentes son óxidos, así como, cloruros, sulfatos, carbonatos, etc. Este tipo de corrosión se puede presentar por ejemplo en la soldadura de piezas de la gafa.

Los metales reaccionan con aquellas sustancias que le fueron extraídas en el proceso de fundición. El cobre, por ejemplo reacciona con el dióxido de carbono del aire, produciendo carbonato de cobre, denominado generalmente «patina», de color verdoso. Esta capa es impermeable al aire y protege al cobre situado debajo de la corrosión. De la misma manera forman capas de óxido protectoras el aluminio plomo y zinc.

El hierro, en cambio, forma una capa de óxido porosa y no fuertemente adherida, debajo de la cual cada vez más hierro se convierte en óxido de hierro, de manera que la pieza puede ser destruida completamente desde la superficie.

Corrosión electroquímica

En la corrosión electroquímica, el proceso de destrucción se produce por electrólisis.

Si se toman dos metales distintos, se unen con un alambre, y se colocan en un líquido conductor eléctrico (ácido, base o solución salina) tendrá lugar una reacción química. El metal menos noble se disuelve y se combina con el líquido.

Esto se conoce por pila galvánica, el líquido se denomina electrolito y las piezas metálicas, electrodos.

Si se utilizan, por ejemplo, los metales cobre y zinc, será este último el que pasará más fácilmente que el cobre a la disolución. La formación de iones de zinc es mayor que la de cobre, viéndose que la pieza de zinc se va consumiendo. Si se conecta un voltímetro en la unión de los dos metales, nos indica que el zinc se convierte en polo negativo y el Cobre en positivo. La tensión deberá ser de aproximadamente 1,1 voltios.

En un electrolito, cada metal posee una presión de disolución que le obliga a ceder iones metálicos. Si es grande,

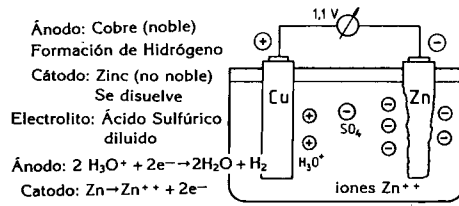


Fig. 4. Pila galvánica.

se denominan metales no-nobles (Al, Zn, Fe) y si es pequeña, electrolíticamente nobles (Cu, Ag, Au). Para obtener valores comparables sobre la capacidad de formación de iones de los metales, se han medido los distintos metales en comparación un «electrodo normal», rodeado de gas hidrógeno, obteniéndose el potencial electroquímico de los metales.

En una pila galvánica con electrodos metálicos es siempre el metal no-noble el que por formación de iones pasa a la disolución. Cuanto más separados estén los metales en la escala de potenciales, más intensiva será la formación de iones.

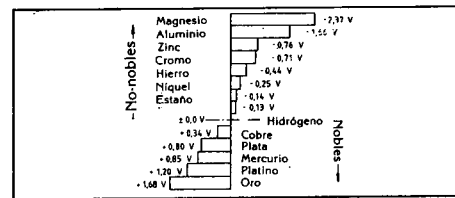


Fig. 5. Escala de potenciales de los metales.

Para la formación de una pila galvánica es necesario, además de dos metales distintos, un electrolito. Los electrolitos se forman en aquellos lugares en que existe una humedad del aire normal. Los gases presentes en el aire forman

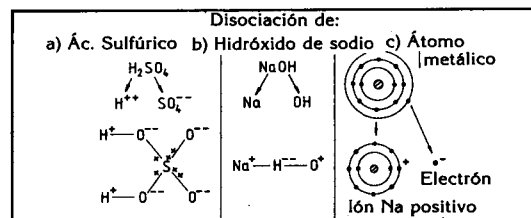


Fig. 6. Disociación de un ácido, una base y un átomo metálico.

con el vapor de agua del aire, ácidos o bases, que se disocian y se convierten en electrolitos.

Un ejemplo conocido de corrosión electroquímica es la hojalata. Está compuesta de chapa de acero estañada. En caso de corrosión se oxida el metal no-noble, situado debajo de la capa más noble de estaño.

El proceso inverso tiene lugar en el caso de una valla revestida de zinc. Este, menos noble, se «sacrifica» hasta que no queda ni un gramo. Es entonces cuando empieza a oxidarse el material base: hierro.

En las monturas metálicas, las zonas propensas a oxidarse son las uniones y las articulaciones, así como, las soldaduras, en las que se juntan materiales distintos.

Corrosión intercrystalina

En la corrosión intercrystalina, el ataque corrosivo está localizado en el borde del grano, progresando a lo largo

del límite al interior del material, lo que lleva al aflojamiento de la estructura y por tanto a la destrucción de los granos.

La mayoría de materiales utilizados en la técnica son mezclas (aleaciones), es decir, dos, tres o más sustancias, de diferente nobleza, que se mezclan en la estructura del material. A menudo la zona del borde del grano es menos noble que el interior. En el acero, es menos noble el hierro, que el carburo de hierro, por lo que lo que se destruye es el hierro.

Corrosión por agrietamiento

Este tipo de corrosión es localizada, debida a variaciones de la concentración de oxígeno en grietas de origen constructivo. La causa es el empobrecimiento en oxígeno de la humedad. Daños de corrosión de este tipo se encuentran a menudo en las monturas metálicas entre el talón y la varilla, o en la zona entre puente/aro y entre aro y el soporte de plaqueta.

Además, el ablandador de plástico del aro, hace que el electrólito sea todavía más agresivo. El ataque de corrosión puede ser tan fuerte que destruya las capas depositadas galvánicamente o chapadas de oro. Cuando la capa de metal noble ya esté corroída en algún punto, la base noble no tardará en seguir oxidándose, y la gafa se volverá poco vistosa y anti-higiénica.

Carbono

En cada célula de un ser viviente están presentes combinaciones del elemento carbono. Muchos polímeros contienen carbono, así como los productos alimenticios contienen hidratos de carbono.

Los átomos de carbono se pueden ordenar según dos estructuras cristalinas: formando el grafito o el diamante.

La dureza del diamante es debida a que tiene una estructura tetraédrica muy compacta y un enlace entre átomos muy fuerte. En él, todos los electrones de un átomo forman pares con los átomos vecinos. La distancia entre los átomos de C entre sí y en las tres direcciones del espacio es de 15,4 nm.

La poca dureza del grafito es debida a la separación relativamente grande de sus capas, por lo que estas se deslizan fácilmente unas sobre otras. La distancia entre los átomos dentro de una capa es de 14,2 nm, pero la distancia entre láminas es de 32,5 nm. Dentro de una capa (o lámina) de forma hexagonal regular, las fuerzas de enlace son relativamente fuertes, pero entre las láminas, son débiles. La causa es que cada átomo de carbono se une con tres carbonos equidistantes y situados en el mismo plano, quedando el cuarto electrón libre y pudiendo transportar corriente de una lámina a otra. El grafito es por tanto un conductor eléctrico.

Carbón es grafito mezclado con impurezas.

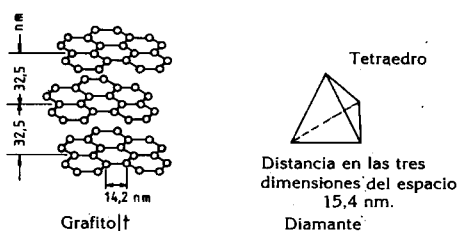


Fig. 7. Estructura cristalina del grafito y del diamante.

Óxidos del carbono

Al quemar el carbono se forma monóxido o dióxido de carbono.

Monóxido de carbono (CO)

Se forma en el caso de una combustión incompleta. El CO es combustible, no soluble en agua y altamente tóxico porque se combina con la hemoglobina de la sangre, formando un compuesto que no transporta oxígeno.

Dióxido de carbono (CO₂)

Se forma en el caso de una combustión completa. No es combustible, es muy soluble en agua y no es venenoso.

Se produce en la respiración de las personas, animales y plantas, y en el consumo de carburante. Al revés, se consume CO₂ de la atmósfera en la fotosíntesis de las plantas, en la erosión de las rocas y por el intercambio de CO₂ entre el aire y el agua de mar. El dióxido de carbono es más pesado que el aire, apaga la llama y hace imposible la respiración. Se vende en el comercio en grandes cantidades, en estado líquido, como ácido carbónico.

Enlaces de hidrocarburos como base de la química de las materias plásticas

Debido a sus cuatro electrones en su capa más externa y sus cuatro plazas «libres», el átomo de carbono presenta unas condiciones excelentes para la formación de cadenas y anillos. Casi ideal es la posibilidad de enlace con el hidrógeno. Las monturas de gafas de materias plásticas se basan en estas cadenas de hidrocarburos.

Polimerización de hidrocarburos encadenados

Se entiende por polimerización la construcción de macromoléculas a partir de moléculas del mismo tipo. Estas moléculas se denominan monómeros, siendo su característica el doble enlace.

Hidrocarburos con enlace doble, son insaturados, porque su enlace doble reacciona fácilmente con otras sustancias. (Enlaces dobles no son doblemente estables que un enlace simple. Al contrario). Si hay más sustancias cerca, pueden formar una cadena. Estas cadenas se pueden ordenar paralelamente una junto a otra, pero también se pueden aglomerar. Es característico que se formen ramificaciones laterales. El final del proceso de formación de la cadena puede ocurrir por una sustancia que sature el electrón libre de la cadena en crecimiento. Esto es posible con el hidrógeno. Según la cantidad de H añadido, la cadena puede ser corta (mucho H) o larga (poco H).

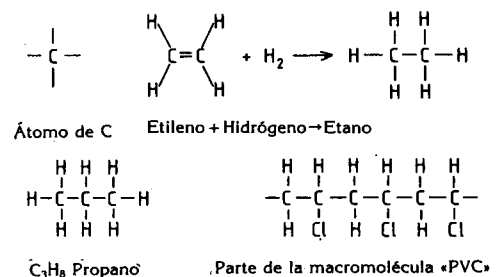


Fig. 8. Carbono y compuestos de hidrocarburos.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y aceptado a la terminología optométrica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Bases electrotécnicas

La energía eléctrica suele ser el único tipo de energía utilizado en un taller óptico. Sirve para accionar las máquinas y utensilios, para tener luz y a menudo para la calefacción.

La manipulación inadecuada de instalaciones eléctricas puede causar accidentes graves y hasta mortales. Por esto se tratará ampliamente de las medidas de seguridad para utilizar estas instalaciones. Pero antes, se expondrán las leyes más importantes de la electricidad.

Modelo de la energía eléctrica.

El electrón como portador de carga

Una bombilla eléctrica emite luz si está conectada a una fuente de tensión. ¿Cómo llega la energía eléctrica a través del alambre hasta el lugar de consumo, el filamento?

Se explica utilizando el modelo de la estructura de los metales.

Los átomos metálicos tienen en su capa más externa sólo pocos electrones, que ceden cuando forman los cristales metálicos. Un cuerpo metálico consta normalmente de iones positivos rodeados de electrones libres, cargados negativamente, que se mueven al azar.

Si un conductor metálico de este tipo se conecta a una fuente de tensión, los electrones se moverán en una dirección determinada: Hay flujo de corriente eléctrica (fig. 1).

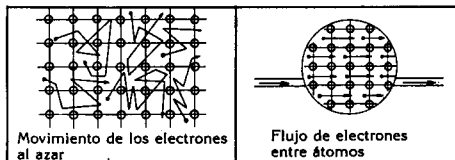


Fig. 1. Modelo del movimiento de electrones

En los conductores metálicos, el flujo de la corriente eléctrica es un movimiento dirigido de electrones.

La fuente de tensión es por tanto una especie de máquina clasificadora de electrones; se ha de aplicar trabajo mecánico para conseguir una separación en: exceso de electrones (polo negativo) y falta de electrones (polo positivo).

Algunos líquidos también son conductores eléctricos. Pero en los líquidos no hay electrones libres, debiéndose la conducción de corriente a los iones.

Los ácidos, bases y sales de disociación en disoluciones acuosas en iones, que son partículas cargadas eléctricamente, formadas por la ganancia o pérdida de electrones. Los iones producen el transporte de energía eléctrica.

En los líquidos conductores de electricidad, la corriente eléctrica fluye debido al movimiento de iones.

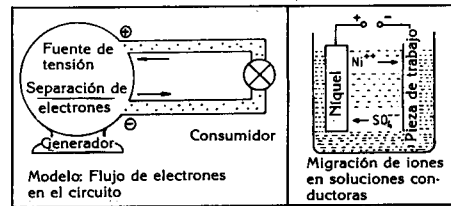


Fig. 2

Conductores, semiconductores y aislantes

Todas las materias se pueden clasificar según su capacidad para transportar la corriente eléctrica.

Se dividen en:

—Conductores: Cuando el transporte de cargas es fácil. P. ej.: Todos los metales, ácidos, bases, sales, carbón.

—Aislantes o no-conductores: Cuando el flujo de electrones es difícilmente posible. Pertenecen a este grupo: goma, materiales sintéticos, vidrio, aceite, porcelana.

—Semiconductores: Permiten, debido a «agujeros» en su estructura cristalina, una cierta movilidad de los electrones. Son imprescindibles para la construcción de transistores. Lo son p. ej. el silicio y el selenio.

No existe un conductor ni un aislante absoluto. Aún la plata siendo muy buen conductor, tiene una cierta resistencia al flujo de electrones, y la goma también deja pasar cierta corriente eléctrica aunque en una medida muy pequeña.

Efectos de la corriente eléctrica

Como la corriente eléctrica no puede percibirse directamente por los órganos sensoriales humanos, la tenemos que reconocer por sus efectos.

La corriente eléctrica se reconoce por su:

- Acción calorífica.
- Acción luminosa.
- Acción química.
- Acción magnética.
- Acción fisiológica.

Acción calorífica

La corriente eléctrica puede utilizarse para calentar sustancias. Se utiliza esta acción en el soldador, en el ventilador y en el calentador. Se produce haciendo fluir una corriente a través de una resistencia con lo que se calienta. Por desgracia, muchas máquinas, motores y transformadores producen un calor de corriente no deseado, llegándose a calentar tanto que deben ser desconectados.

Acción luminosa

La acción luminosa de la corriente eléctrica es una acción calorífica hasta el límite de la incandescencia de un conductor metálico, generalmente una aleación de wolframio. Así, la energía en el filamento de una bombilla de incandescencia sólo es transformada en un 5 % en luz visible, siendo la restante energía calorífica. En los últimos años se han desarrollado una serie de mejoras en la producción en serie, como p. ej. bombillas de vidrio con capas reflejantes o lámparas con gas halógeno.

Las lámparas de descarga utilizan otro método físico para la obtención de luz. En ellas tiene lugar una descarga debido al paso de corriente a través de vapor de mercurio a baja presión, originando una luz casi invisible, pero

mucha radiación ultravioleta, que absorbida por la materia fluorescente del interior del tubo de vidrio produce luz visible. Variando la composición de la materia fluorescente se puede cambiar, dentro de unos límites, el color de la luz emitida.

Acción magnética

Si se envuelve una varilla de hierro con un alambre de cobre, y se deja fluir una corriente eléctrica a través del alambre, se obtiene una bobina que atrae piezas metálicas, representando por tanto un electroimán. Un conductor, por el cual fluye una corriente, produce un campo magnético. El núcleo de hierro sirve para aumentar la fuerza magnética de la bobina.

Al revés, es posible generar una corriente con ayuda de un imán dentro de una bobina, llamándose a este proceso inducción electromagnética y constituyendo la base de los motores, generadores y transformadores. En general pues es válido que cualquier corriente eléctrica genera un campo magnético a su alrededor (fig. 3).

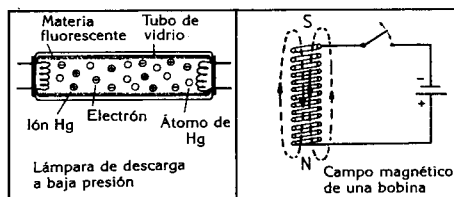


Fig. 3. Acción luminosa y acción magnética de la corriente eléctrica.

Acción química

La acción química de la corriente eléctrica se puede representar en un elemento galvánico. Una placa de cobre (Cu) y una de hierro (Fe) se introducen en un electrolito (solución salina) y se conectan los polos a una batería. Si la tensión aplicada es mayor que la diferencia de tensión entre el Fe y el Cu, entonces los iones de cobre pasan a la solución y se depositan sobre la placa de hierro.

Con ayuda de este procedimiento galvánico se niquelan, croman y se cobrean piezas de acero (las monturas metálicas) o se anodiza aluminio (ver fig. 2: niquelado)

Acción fisiológica

Como es sabido, la corriente eléctrica también tiene acción sobre el cuerpo humano, pudiendo ser, en dosis muy cuidadas y bajo control médico, curativa (diatermia).

Una descarga eléctrica puede causar:

- Quemaduras.
- Alteraciones del ritmo cardiaco.
- Descompensación del líquido celular (envenenamiento).
- Efecto de shock.

Circuito eléctrico sencillo

Una lámpara incandescente brillará, si el circuito eléctrico está cerrado. Es decir, para el transporte de carga eléctrica es necesario un circuito conductor cerrado. En el caso más sencillo consta de una fuente de alimentación, conductores y consumidores. Para la representación de estos circuitos se utilizan símbolos de conexión normalizados.

A menudo se compara el circuito de corriente eléctrica con el ciclo cerrado del agua. Una bomba representa al generador, que produce una diferencia de presión (=tensión). A través de las tuberías de conducción (=líneas eléctricas) fluye el líquido (=corriente de electrones), pudiéndose comparar las pérdidas por rozamiento en las estrechas tube-

rías con la resistencia. Aunque esta representación no es científicamente muy acertada, si tiene la ventaja de una gran claridad.

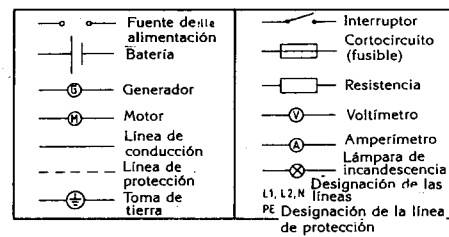


Fig. 4. Símbolos de conexión

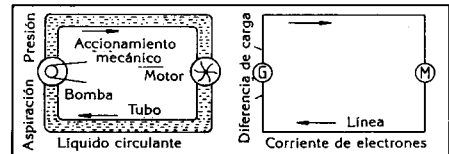


Fig. 5. Circuito de corriente hidráulica y eléctrica.

Tensión	Símbolo U	Unidad V
---------	-----------	----------

La tensión eléctrica está definida en el sentido físico estricto como el trabajo por cantidad de carga transportada. Como esta definición es difícil de imaginársela, se puede decir que la tensión es la diferencia de carga eléctrica entre dos polos.

La unidad de esta magnitud es el voltio (V) y el símbolo de la magnitud de medida de tensión es U.

El movimiento de la carga eléctrica en los conductores ya se ha mencionado otras veces, sin dar la explicación de las causas. Normalmente, los átomos cargados positivamente y los electrones cargados negativamente, están en equilibrio. Hacia afuera, un cuerpo metálico es eléctricamente neutro.

Pero cuando, por medio de un trabajo, se desplazan los electrones, este equilibrio se rompe y entre los puntos en los que se ha roto, hay una tensión. Si se unen ambos puntos por medio de un conductor, entonces los electrones, como portadores de carga, intentarán restablecer el equilibrio. A este afán por restablecer el equilibrio se le denomina tensión y los dos puntos, polos. Debido a esta alteración del estado de equilibrio, uno de los polos tiene un exceso de carga: es el polo negativo, mientras que el polo con deficiencia de carga es el positivo.

En la compensación del equilibrio, la carga es transportada desde el polo negativo al positivo (sentido físico de la corriente).

La creación de tensión (separación de carga) se produce en los generadores que son motores con los polos invertidos.

Medición de la tensión

Para la medición de la tensión se utiliza el voltímetro. Como una tensión siempre se presenta entre dos polos, el voltímetro debe medir la tensión entre ellos por lo que debe conectarse en paralelo al aparato consumidor. Tensiones típicas son:

Elemento termoelectrónico (termopila)	10 mV
Monocélula de batería	1.5 V
Batería de automóvil	12 V
Tensión de red (luz)	220 V
Motor de corriente trifásico	380 V
Locomotora eléctrica	15.000 V
Grandes líneas interurbanas	380 KV

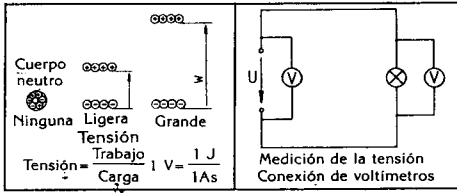


Fig. 6. Tensión y medición de la tensión.

Intensidad de corriente eléctrica	Símbolo I	Unidad A
-----------------------------------	-----------	----------

La corriente eléctrica es el movimiento dirigido de cargas (flujo de electrones).

La unidad de la intensidad de corriente es el amperio (A) y es una unidad fundamental del Sistema Internacional (SI).

El símbolo utilizado para la intensidad de corriente eléctrica es I.

Valores característicos de I son:

Receptor de radio	50 μ A
Calentador de gafas	2 A
Biseldora automática	4 A
Taladro	3 A
Lámpara de incandescencia de 100 W	0.5 A

Tipos de corriente

—Corriente continua, las cargas eléctricas conservan una intensidad de corriente constante y el mismo sentido.

—Corriente alterna, cambia de sentido periódicamente. En nuestra red, la corriente alterna cambia de dirección 50 veces por segundo. Al número de oscilaciones por segundo se le denomina frecuencia y su unidad es el Herz (Hz), así, en nuestra red, la frecuencia es de 50 Hz.

Medida de la intensidad de corriente

La intensidad de corriente se mide con los ampímetros que son instrumentos que miden la cantidad de carga que fluye a través del conductor y por ello, han de ser conectados dentro del circuito (conexión en serie).

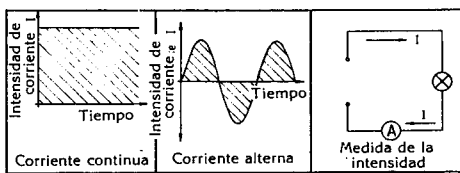


Fig. 7. Tipos de corriente y medida de la intensidad de la corriente

Resistencia eléctrica	Símbolo R	Unidad Ω
-----------------------	-----------	-----------------

Todo conductor presenta una cierta resistencia eléctrica al flujo de electrones.

Depende de:

- La sección y la longitud del conductor.
- La temperatura.

La resistencia eléctrica tiene una unidad el ohmio (Ω -omega) y su símbolo es R.

Un conductor presenta una resistencia de $R=1\Omega$, si a la tensión de $V=1V$, fluye una intensidad de corriente de $I=1A$

Resistividad (resistencia específica)

La resistividad (símbolo) se introdujo para poder comparar las resistencias de distintos conductores. Se toma un conductor de 1 m de longitud y 1 mm de sección, a una temperatura de 20 $^{\circ}C$.

Valores numéricos:

Cobre	= 0,1078 Ω mm ² /m
Plata	= 0.016 Ω mm ² /m
Aluminio	= 0.028 Ω mm ² /m
Hierro	= 0.120 Ω mm ² /m

Longitud, sección, material	Resistencia	Cálculo
l_1	Pequeña	$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$ (Ω)
l_2	Grande	
A_1	Grande	ρ = resistividad en Ω mm ² /m
A_2	Pequeña	
Cobre	Pequeña	l = longitud en m A = Sección del conductor en mm ²
Aluminio	Grande	

Fig. 8. Resistividad: magnitudes que influyen y su cálculo

Ejemplo: ¿Qué resistencia tiene un cable de prolongación de cobre, de longitud $l=50$ m, de sección $A=1.50$ mm²?

$$\text{Resistencia } R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad R = \frac{0,018 \cdot 100}{1.5} \quad R = 1,186 \text{ Ohm}$$

Como el cable debe ser como mínimo de dos hilos (camino de ida y de vuelta) la longitud l es el camino total que recorre la corriente.

Ley de Ohm

La Ley de Ohm relaciona las tres magnitudes fundamentales de la electrotécnica: intensidad de corriente I, tensión V y resistencia R. Sin la tensión no habría flujo de corriente en un circuito eléctrico y el valor de la intensidad de corriente depende por otro lado de la resistencia del conductor y del consumidor en el circuito.

La relación entre V, I y R es muy sencilla y puede ser fácilmente comprobada experimentalmente sin más que con unas cuantas monobaterías, pequeñas bombillas y un plurímetro (tester).

En el primer experimento se utiliza una lámpara ($R=cte$), variándose la tensión utilizándose distintas baterías y midiéndose la intensidad I. El resultado es I-V (linealmente proporcionales).

En el segundo experimento se mantiene constante la tensión y se colocan en el circuito de corriente, diferentes bombillas de distinta resistencia, midiéndose la intensidad I en cada caso. Se observa que $I \propto 1/R$.

Resumiendo ambos resultados, enunciamos la Ley de Ohm:

En un circuito de corriente cerrado, la intensidad de corriente I es, para una resistencia R constante, proporcional a la tensión aplicada V.

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Tensión}}{\text{Intensidad}} \quad R = \frac{V}{I} \quad (\Omega = \frac{V}{A})$$

En la aplicación técnica las fuentes de alimentación y los aparatos consumidores pueden estar conectados de distintas formas. Según sean circuitos de corriente ramificados o no-ramificados, se denominarán conexiones en paralelo o conexiones en serie.

Conexión en serie

En este tipo de conexión, todos los consumidores se conectan uno detrás de otro a una fuente de alimentación. El ejemplo más claro es la cadena de lucecitas del árbol de Navidad.

Experimento:

Se conectan tres resistencias en serie, midiéndose las intensidades en cada una de ellas y la tensión entre sus bornes.

Resultado:

A través de cada resistencia fluye la misma corriente $I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$

En cambio, la tensión varía en las distintas resistencias, disminuyendo muy poco en una resistencia pequeña y mucho más en las resistencias grandes que ofrecen, como su nombre indica, mayor resistencia al flujo de corriente. La suma de las tensiones en los distintos consumidores es la tensión total aplicada al circuito.

$V = V_1 + V_2 + \dots$

Con ayuda de la Ley de Ohm se puede demostrar que la suma de resistencias es igual a la resistencia total.

$R = R_1 + R_2 + \dots$

En la instalación de líneas conductoras (circuitos eléctricos en la tienda o el taller) no se utiliza la conexión en serie debido a que si uno de los consumidores fallase, quedaría cortado todo el circuito.

La conexión en serie tiene utilidad en calentadores, donde dos o tres resistencias de calentador (espirales) pueden producir distinta cantidad de calor por diferentes combinaciones de conexiones en serie y en paralelo de ellas. Así, los hornillos eléctricos, calentadores de monturas y otros instrumentos se pueden regular a diferentes potencias caloríficas.

Las conexiones en serie también son características de los instrumentos que funcionan con baterías. Los pequeños instrumentos portátiles, medidores de la d.i.p., buscadores de grabaciones en los progresivos, se alimentan a menudo con la tensión necesaria por conexión en serie de varias baterías. Así, tres monopilas de 1.5 V conectadas en serie, es decir, polo positivo de la primera pila conectado al polo negativo de la segunda, etc, dan una tensión de 4.5 V.

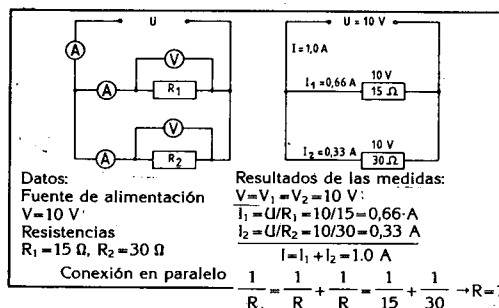


Fig. 9.

Conexión en paralelo

La conexión habitual de consumidores (instrumentos de taller, luz, enchufes) en el denominado circuito de corriente-luz (instalación eléctrica doméstica) se realiza por conexión en paralelo, por lo que es posible conectar y desconectar cada uno de los consumidores independientemente de otros instrumentos. La conexión de instrumentos no influye en la tensión de la red.

Si en un experimento se conectan dos resistencias de 15 y 30 Ω en paralelo a un fuente de alimentación de 10 V, en cada una de ellas habrá la misma tensión:

$V = V_1 = V_2 = \dots$

Las medidas muestran que por la resistencia menor fluye la intensidad de corriente mayor: la corriente va por tanto por el camino de menor resistencia.

La suma de las intensidades de corriente de cada consumidor es igual a la intensidad de corriente total.

$I = I_1 + I_2 + \dots$

Para las resistencias es válido, según la Ley de Ohm:

$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$

La inversa de la resistencia total es igual a la suma de los valores inversos de las resistencias.

La resistencia total es siempre menor que la menor de las resistencias conectadas.

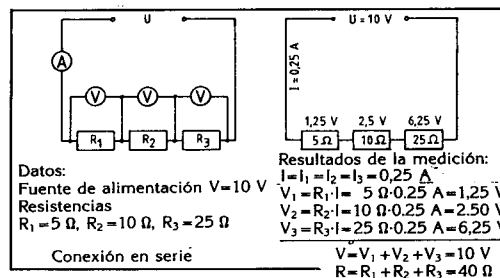


Fig. 10.

Trabajo eléctrico (Energía)

La energía eléctrica es solamente una de las muchas clases de energía y como cualquiera de ellas, puede realizar un trabajo, pudiendo ser transformada, nunca producida ni destruida.

El valor del trabajo eléctrico depende de la tensión, del número de electrones que fluyen, es decir, de la intensidad de la corriente y del tiempo.

El trabajo eléctrico W es el producto de la tensión V , de la intensidad I y del tiempo t .

$$W = V \cdot I \cdot t \quad (\text{Joule} = \text{Wattseg} = V \cdot A \cdot s)$$

El símbolo del trabajo es W (work), la unidad es el watioseg=julio (como en cualquier fórmula de trabajo).

Un múltiplo de la unidad watiosegundo a menudo utilizado es el kilowatiohora (kWh):

$$1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ Ws} = 3.600.000 \text{ Julios}$$

El trabajo eléctrico suministrado por la central eléctrica se mide en los contadores en la unidad kWh.

Potencia eléctrica

La potencia eléctrica está definida, como todas las potencias, como trabajo por unidad de tiempo.

Si se divide el trabajo $W = V \cdot I \cdot t$ por el tiempo t , se obtiene la potencia eléctrica como el producto de la tensión y la intensidad de corriente.

La potencia eléctrica es $P = U \cdot I$ ($W = V \cdot A$)

Su símbolo es P (power), su unidad es el watio W . Unidades mayores se miden en kilowatios o megawatios:

$$1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W} \quad 1 \text{ MW} = 1.000 \text{ kW} = 1.000.000 \text{ W}$$

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología optométrica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Bases electrotécnicas

Medidas preventivas contra los peligros de la corriente eléctrica

Para la energía eléctrica el hombre no posee ningún órgano sensorial que le pueda indicar un posible peligro, como ocurre, por ejemplo, cuando se da cuenta del fuego.

El cuerpo humano representa para la corriente eléctrica un conductor, como lo demuestra el siguiente experimento:

Se construye un circuito abierto, alimentado por una batería o un generador de corriente continua. Para demostrar que hay flujo de corriente, se conecta un amperímetro al circuito de corriente.

Ahora se cierra con los dedos de una mano el punto abierto del circuito, marcando inmediatamente una débil corriente.

Si se humedecen los dedos o se presiona fuertemente los extremos de los conductores entre los dedos, el flujo de corriente será mayor. Como el cuerpo humano está constituido por una considerable parte de agua salada, el resultado del experimento no es sorprendente. El cuerpo humano posee, con la piel seca, una resistencia de unos 1.000 ohms, como es fácilmente calculable a partir de la lectura del amperímetro con ayuda de la Ley de Ohm. Pero esta resistencia desciende claramente por debajo del límite de 1.000 ohms si la piel está húmeda.

En caso de una fuerte descarga eléctrica, la piel puede quemarse y como consecuencia, otra descarga eléctrica bastante mayor fluirá por el cuerpo.

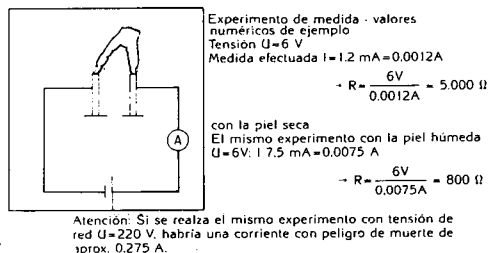


Fig. 1.

Como demuestra el electrocardiograma (representación de las corrientes eléctricas relacionadas con la actividad cardiaca), todas las actividades de los músculos, los nervios y el cerebro van acompañadas de débiles corrientes eléctricas. Las corrientes eléctricas introducidas desde fuera del cuerpo, perturban este proceso natural.

La magnitud de la perturbación depende de:

— tipo de corriente (la alterna es más crítica que la continua)

— frecuencia de la corriente alterna

— intensidad de la corriente

— camino recorrido por la corriente (el crítico es por el corazón)

— tiempo de incidencia

Generalmente es válido:

Corrientes de más de 50 mA son muy peligrosas (peligro de muerte). También corrientes más pequeñas pueden causar la muerte, si el tiempo de acción es suficientemente largo (más de 30 s).

En particular es válido: Corrientes de hasta 5 mA provocan estimulación nerviosa; hasta 50 mA, rampa muscular; corriente alterna hasta 5 A, posibilidad de muerte cardiaca instantánea; corrientes mayores de 5 A, quemaduras en la piel. Corrientes tan intensas provocan en las células una especie de elemento galvánico pudiendo destruir de tal manera la albúmina celular que provocaría una muerte tardía por envenenamiento.

Primeros auxilios

- 1) Desconectar inmediatamente la corriente!
- 2) Si no es posible, separar la herida de la fuente de alimentación con ayuda de ropa, piezas de plástico, cuerdas, tablas de madera, etc.
- 3) Determinar si existen heridas —llamar al médico
- 4) En caso de paro cardiaco se han de tomar las medidas de socorro habituales: ayuda respiratoria y fuertes golpes con el puño en la zona del corazón.
- 5) En caso de shock (pulso rápido y poco profundo, palidez) mantener las piernas elevadas.

Para la protección de los peligros de la corriente eléctrica han sido dictadas rigurosas normas de seguridad por la asociación profesional, la inspección industrial y la asociación de técnicos eléctricos alemanes (VDE). Las empresas de abastecimiento energético (EVU) tienen aparte otras medidas propias, que varían según la región, y que regulan las instalaciones eléctricas de energía.

Medidas de protección - Prevención de accidentes

Las medidas de protección se dividen en aquellas que ha de tomar el instalador eléctrico autorizado y las que ha de tomar el usuario. El instalador eléctrico es el responsable de la colocación reglamentaria de la instalación, debiendo tener en cuenta, sobre todo, la medición de las secciones de los conductores y el control de los cortacircuitos. El usuario es el responsable de la impecabilidad de los instrumentos durante su utilización. Para ello son necesarios unos conocimientos básicos sobre medidas de seguridad.

Normas para conductores eléctricos y fusibles

Los conductores eléctricos pueden transmitir por poco tiempo intensidades de corriente relativamente altas; pero para un funcionamiento continuo, una elevada intensidad de corriente conduciría a un sobrecalentamiento (como peligro de incendio).

En las normas VDE, está fijada la máxima carga de los conductores de cobre y su correspondiente valor de fusible. Los fusibles son puntos débiles artificiales, que en caso de sobrecarga o cortocircuito, se queman o disuelven sin peligro.

Tabla I

Sección del conductor en mm ²	Carga máxima del		
	Conductor	Fusible	Color
1,00	13 A	10 A	rojo
1,5	16 A	16 A	pardo
2,5	21 A	20 A	azul
4,0	27 A	25 A	amarillo

La distribución de la corriente en el hogar, taller o tienda se realiza por medio de varios circuitos asegurados independientemente.

Generalmente, la instalación es a base de líneas conductoras de cobre de 1,50 m² de sección, protegidas con fusibles de 16 A. Con la corriente de red usual de 220 V, la carga máxima de estos circuitos de corriente es de $P=220 \text{ V} \cdot 16 \text{ A}=3.520 \text{ W}$

Ejemplo: Un circuito tiene conectados los siguientes consumidores:

Calentador	550 W
Biseladora automática	750 W
Iluminación general	240 W
Iluminación de la zona de trabajo	300 W
Suma	1.790 W

La diferencia hasta la carga máxima es de:

$$3.250 - 1.790 = 1.730 \text{ W}$$

Termoventiladores, que a menudo tienen una obstrucción de potencia de 2.000 W, cargan bastante los circuitos eléctricos. En el ejemplo anterior, un termoventilador de este tipo haría saltar el fusible.

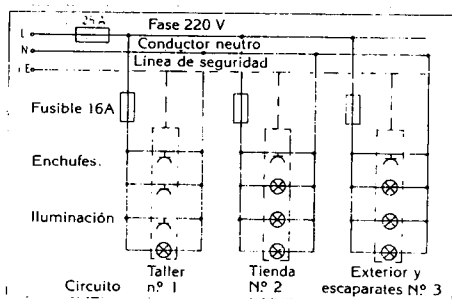


Fig. 2. Distribución de una instalación eléctrica en distintos circuitos.

Tipos de cortocircuitos: fusibles y automáticos de seguridad

Los fusibles constan de un cartucho de cerámica lleno de arena, en los que se encuentra el alambre indicador y el alambre fusible, cerrándose con una tapa de rosca. Los fusibles nunca deben ser remendados ni conectados por puente. Como recambio sólo se deben utilizar fusibles de igual potencia (reconocibles por la pequeña coloreada).

Los automáticos de seguridad son tecnológicamente mejores; reaccionan a la sobrecarga por el calentamiento de una espiral bimetálica, que se dobla cortando el circuito. A descargas de corriente muy elevadas y repentinas, reaccionan en pocos milisegundos; mucho más deprisa que los fusibles. Este desacoplamiento electromagnético rápido en un circuito interrumpido ocurre gracias a una bobina con un núcleo y un rotor desencadenante. Los automáticos de seguridad vuelven a estar preparados para su uso por sencillo cambio de posición de un interruptor o por presión de un botón.

Medidas de protección sin toma de tierra

Si el armazón de un instrumento está fabricado totalmente de material aislante (material sintético), que no pierde su efecto aislante ni por envejecimiento ni por desgaste, entonces se puede prescindir de instalación eléctrica con toma de tierra. Este tipo de instrumentos están equipados con los llamados enchufes planos europeos. La señalización de este tipo de instrumentos se realiza con un doble cuadrado. Hoy en día, la mayoría de aparatos domésticos: aspiradores, secadores, etc., así como el pequeño instrumental de taller: taladros, ventiletes, etc., se fabrican con armazón aislante.

*En España, para uso industrial está limitado a 300 mA y para uso doméstico a 30 mA.

Medidas de protección con línea conductora de seguridad

El cable de seguridad ha de estar señalizado de color amarillo-verde. Se une a todos los cuerpos metálicos de la casa que llevan a un contacto directo. Este cable constituye la toma de tierra y en la instalación de una casa se conecta a barras metálicas clavadas profundamente en la tierra, alrededor de la casa, estando todos los aparatos, enchufes y lámparas conectados a este cable de seguridad.

a) Toma de tierra

La base de la toma de tierra es la conexión de todos los aparatos arriba mencionados. Si se une un conductor que lleva corriente con un aparato, fluirá una alta corriente de cortocircuito, que hará saltar el fusible. Esta corriente de cortocircuito se descarga a través del cable de seguridad y del conductor neutro conectado a tierra.

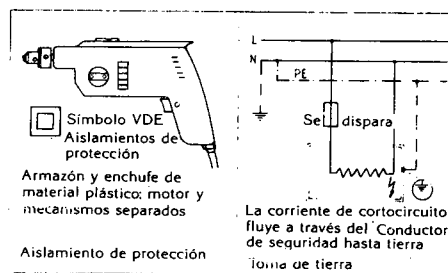


Fig. 3. Medidas de protección, aislamiento de protección y toma de tierra.

b) Relé diferencial (conexión de protección FI)

Debido a sus múltiples ventajas, esta conexión de protección tiene técnicamente un puesto dominante entre los sistemas de seguridad. Su alto grado de seguridad hace recomendable su utilización en numerosos casos. La conexión FI desconecta tensiones de contacto peligrosas, que se pueden producir por contacto corporal o fallo del aislamiento, en 0,03 segundos. Además ofrece una elevada protección contra fugas a tierra e incendio.

El principio de funcionamiento es el siguiente: la conexión FI mide continuamente la intensidad de corriente que circula por el conductor de tierra o por el neutro y se dispara cuando la corriente es mayor a 40 mA por ejemplo.*

Se puede volver a conectar con un interruptor una vez eliminado el problema.

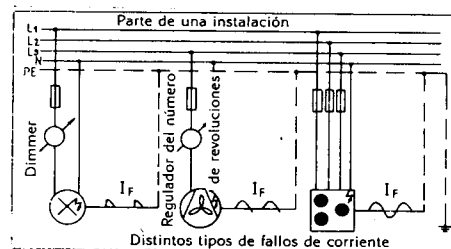


Fig. 4. Corrientes defectuosas en un circuito de tres conductores.

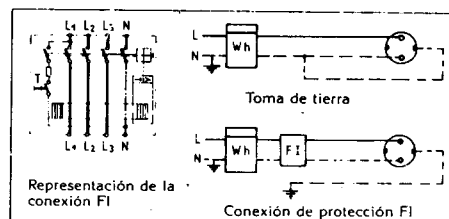


Fig. 5. Cambios entre el sistema de protección de toma de tierra y la conexión FI.

Tabla II. Posibles problemas en fusibles y en conexión de protección FI

Un fusible se quema	El interruptor FI salta
<p>Consecuencia inmediata: Un circuito está fuera de servicio Algunas lámparas no dan luz</p> <p>Causas posibles Sobrecarga Demasiados consumidores conectados a un circuito.</p> <p>Solución: Control de los aparatos, en particular de los termoventiladores. Otra causa posible: Cortocircuito, la fase está rota y roza al conductor neutro.</p> <p>Solución: ¿Cuántos enchufes abarca el circuito? Conectar los aparatos y lámparas de este circuito, uno por uno.</p>	<p>Toda la tienda o taller están «a oscuras»</p> <p>Derivación a masa La fase (220 V) se ha roto en un aparato y toca el armazón metálico</p> <p>Sacar todos los enchufes y desconectar todos los aparatos y lámparas. La conexión de cada aparato y lámpara por separado lleva la identificación del aparato deteriorado.</p>

Bases de enchufes y enchufes

Según las normas VDE, sólo se deben utilizar enchufes y bases de enchufe con contacto de protección para aparatos que cambian de lugar de uso. Con ello, para el sistema bipolar de 15 A se ha convertido el enchufe con toma de tierra en enchufe único. Los contactos de protección de las bases y enchufes se cierran antes que los polos de contacto tengan tensión y no se abren hasta que el instrumento está otra vez libre de tensión.

Los tres conductores tienen los siguientes colores y significados:

- Fase, marrón o negro, conductor de tensión (220 V)
- Conductor neutro, azul, conectado a tierra (teóricamente 0 V)
- Conductor de protección, amarillo-verde, cable de protección, conectado a tierra (0 V) (según las normas de la asociación profesional, los electricistas no deben tener problemas con la visión de los colores)

Pero como los enchufes de seguridad también se pueden conectar en la base girados 180°, no debemos fiarnos de que el azul sea de 0 V al ser posible que estén conectados al revés. Esto constituye un motivo para la industria de la electricidad de introducir un sistema de enchufes tripolares de conexión única.

Desconecte los enchufes estirando siempre por el enchufe.

Fíjese en posibles dobladuras o puntos de rozamiento, sobre todo, justo detrás del enchufe.

Reglas de seguridad

Nunca desconecte un enchufe por el cable. Estire siempre por el enchufe.
No utilice jamás cables de prolongación en mal estado. Extremos de cables, dobleces y puntos de rozamiento siempre son muy peligrosos.
No se fie nunca de los colores de los conductores. Al poderse conectar los enchufes de dos maneras, es posible que un conductor neutro lleve corriente y la fase no.
Los efectos de la corriente aumentan considerablemente en zona húmeda, por esto, mantener las conducciones en estas zonas en impecables condiciones.

Bases tecnológicas

Cada material posee numerosas propiedades específicas, que le diferencian de otros materiales y lo hacen utilizable para determinadas tareas técnicas. El conocimiento de las propiedades técnicas de un material es importante para el constructor, para poder utilizar el material correctamente.

Pero también el óptico debería conocer las propiedades de los materiales porque le ayudaría en la determinación de la calidad de una gafa y en el momento de aconsejar técnicamente al cliente.

Las propiedades físicas (densidad, fusión, dilatación lineal,...) están definidas como magnitudes físicas y se pueden describir de una manera clara como ocurre también con las propiedades químicas (inalterabilidad a la corrosión,...)

En cambio, las propiedades tecnológicas requieren una explicación más detallada porque unen tanto propiedades físicas como químicas.

Algunas propiedades tecnológicas son de importancia principal para el constructor, porque le indican la utilidad del material para su elaboración, como son la contabilidad, transformabilidad, facilidad de mecanizado, soldadura y templado y especialmente para monturas, la facilidad de chapado.

Para el óptico y el usuario de gafas, en cambio, son de importancia las propiedades mecánicas de los materiales de las monturas porque describen su comportamiento frente a la acción de fuerzas externas.

Clases de esfuerzo mecánico

Las fuerzas que actúan sobre un cuerpo lo someten a los siguientes esfuerzos:

- Resistencia mecánica
- Dureza
- Elasticidad - plasticidad
- Tenacidad - fragilidad.

Resistencia mecánica

Como resistencia mecánica se entiende la resistencia de un material a cualquier variación de su forma y separación mecánica. La fuerza que actúa produce una tensión en el material.

Las partículas más pequeñas de los materiales se mantienen unidas por las denominadas fuerzas de cohesión. Si se somete un material a un esfuerzo, las fuerzas de cohesión evitan, en un primer momento, la separación de las partículas, pero, cuando el esfuerzo es mayor que las fuerzas de unión, las partículas del material se separan.

La fuerza necesaria para vencer las fuerzas de cohesión depende, por una parte, del material y por otra, de la sección del cuerpo sometido al esfuerzo. Un cuerpo con una sección grande, es decir, con una mayor superficie, puede, evidentemente, soportar una mayor carga.

Para poder comparar diferentes materiales entre sí, se calcula el esfuerzo mecánico para la rotura para un cuerpo de sección de 1 mm²

Definición de la resistencia mecánica

La resistencia mecánica es la relación entre el esfuerzo máximo aplicable y la sección del material sometido a este esfuerzo.

La resistencia se mide en Newton (N), la sección en mm² y el símbolo de la resistencia es σ .

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{esfuerzo máximo}}{\text{área de la sección sometida al esfuerzo}}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad \sigma = \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Ejemplo: Un alambre de «plata nueva» (alpaca) (aleación de CuNiZn) con una sección redonda de diámetro: $\varnothing = 1 \text{ mm}$, puede ser sometido como máximo a una fuerza: $F = 300 \text{ N}$.

¿Qué valor tendrá su resistencia a la tracción?

$$\text{Área de la sección: } A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1^2}{4} \rightarrow A = 0,7854 \text{ mm}^2$$

Resistencia a la tracción:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{300}{0,7854} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow \sigma = 382 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

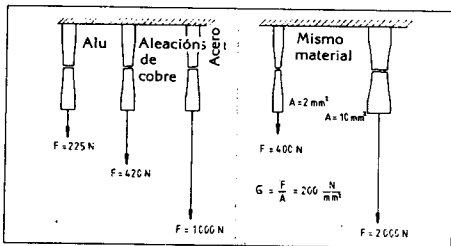


Fig. 6. Dependencia de la resistencia del material y del área de la sección.

Según el tipo de esfuerzo aplicado, se diferencia entre:

- Resistencia a la tracción
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al cizallamiento o cortadura.

Resistencia a la tracción

Si se somete un cuerpo a fuerzas de tracción, se alarga. La resistencia a la tracción es la resistencia que ofrece el material a la rotura por esta fuerza de tracción.

Materiales con una elevada resistencia a la tracción son: acero, titanio, aleaciones de cobre y epóxidos reforzados con fibra de vidrio; tienen una resistencia a la tracción pequeña: oro, plata, cobre puro y aluminio.

Resistencia a la compresión

Las fuerzas de presión actúan sobre una pieza, aplastándola. La resistencia que el material opone a ser aplastado es su resistencia a la compresión. Tienen elevada resistencia a la compresión: vidrio, acero, hierro fundido, hormigón y duroplásticos reforzados; tienen pequeña resistencia: aluminio y los elastómeros.

Resistencia a la flexión

En un cuerpo que se flexiona, se producen distintos tipos de esfuerzos: la superficie doblada hacia afuera sufre tracción y la doblada hacia dentro sufre compresión. Sólo un plano (el que pasa por el centro de gravedad) no se deforma: la fibra neutra. Los esfuerzos mayores tienen lugar en los planos más alejados de la fibra neutra.

Resistencia al cizallamiento o cortadura

Los esfuerzos de cortadura actúan sobre el material haciendo deslizar las partículas del material en sentidos

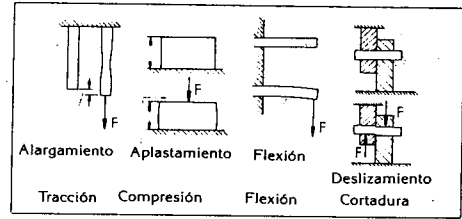


Fig. 7. Tipos de resistencia mecánica.

opuestos. La resistencia a la cortadura es la que ofrece el material al desplazamiento por cizalladura.

Si aplicamos estas definiciones al ejemplo de la montura de gafa, obtenemos los siguientes esfuerzos:

El borde de la montura sufre tracción, mientras que la lente sufre compresión. Es importante saber que la resistencia a la compresión de la lente es considerablemente mayor que la resistencia a la tracción del aro. Los lascamientos en la lente son generalmente debidos a un mal acabado del bisel.

El soporte de la plaqueta y las plaquetas sufren flexión y los tornillos de la bisagra y del cierre de oro, cortadura. Finalmente, la elasticidad de toda la montura es amortiguada debido al efecto elástico de las varillas.

Para todos los esfuerzos es válido que cualquier fuerza necesita una fuerza contraria igual (acción=reacción). La fuerza de tracción del aro de la montura no es posible sin la fuerza de compresión de la lente, y viceversa.

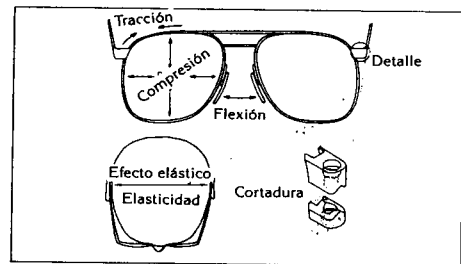


Fig. 8. Esfuerzos mecánicos que actúan en una montura de gafas.

Tabla III. Resistencia mecánica de algunos materiales

Material	Tracción N/mm ²	Compresión N/mm ²	Flexión N/mm ²
Acero para herramientas	500	500	220
Acero de resistencia alta	1.000	1.000	650
Aluminio puro	150	80	40
Aleación de cobre	400	320	150
Vidrio	100	1.500	100
Acetato de celulosa	50	100	40
Epóxido	75	50	120
Poliamida	85	60	110
CR 39	40	150	90
PMMA	90	120	150

Observación: Como los materiales metálicos tienen distintas aleaciones, y también los materiales plásticos varían de composición, los valores arriba indicados sólo se deben considerar como valores medios. Los valores exactos sólo se pueden indicar para un material con una composición determinada.

Tecnología para Ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología óptica castellana por Ingrid Pascual y Joan Savadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrasa

Bases Tecnológicas

Tensión

Si un cuerpo es sometido a una fuerza, el resultado será una tensión en el material. La resistencia del material debe ser mayor que la tensión; de lo contrario, el material se rompería. La tensión y la resistencia son dos aspectos de un mismo caso: la resistencia es una capacidad natural del material; siempre está presente en una medida constante. Una tensión, en cambio, se produce por la acción de fuerzas; puede ser menor o mayor que la resistencia, pero lo último, ¡sólo una vez!

Para la tensión se utilizan las mismas letras indicativas y la misma unidad que para la resistencia. De la misma manera también es válido que:

Una fuerza de tracción produce una tensión por tracción.
Fuerzas de flexión producen tensiones de flexión.
Fuerzas de cortadura producen tensión de corte.

Ensayo de materiales - ensayo de tracción

Las propiedades de resistencia y de formación de un material se han de determinar según las normas DIN. También sin el conocimiento detallado de este tipo de ensayos, los diagramas de tensión-alargamiento son de gran claridad, y proporcionan una noción de deformabilidad elástica y plástica.

En el ensayo de tracción se determina el comportamiento de un material sometido a un esfuerzo de tracción continuo.

Se fabrica una barra redonda normalizada del material que se quiera ensayar se sujeta en la máquina de ensayo y se somete a un esfuerzo de tracción que aumenta de forma uniforme.

Se mide la fuerza de tracción y el alargamiento de la barra de prueba.

Para la interpretación del ensayo de tracción deben ser conocidas las siguientes definiciones (en el ejemplo representadas con unos valores numéricos cualesquiera).

- El alargamiento ΔL es la diferencia entre la longitud inicial L_0 y la longitud de medición L .

$$\Delta L = L - L_0, \text{ ej.: } \Delta L = 103 - 100 \text{ m} \cdot \text{m} = 3 \text{ mm.}$$

- El coeficiente de dilatación ϵ : es el alargamiento ΔL respecto a la longitud inicial L_0 . Se da en tantos por ciento.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 \%, \text{ ej.: } \epsilon = \frac{3}{100} \cdot 100 \% = 3 \%$$

- La tensión σ es la fuerza de tracción F dividida por la sección transversal inicial A_0 .

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ ej.: } \sigma = \frac{3000}{20} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 150 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

En la figura 1 se muestra la tensión σ en función del coeficiente de dilatación ϵ . Este diagrama tensión-dilatación muestra el comportamiento de un material sometido al esfuerzo de tracción.

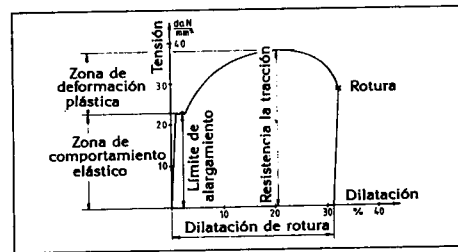


Fig. 1. Diagrama tensión-dilatación con un límite de alargamiento pronunciado.

ficiente de dilatación ϵ . Este diagrama tensión-dilatación muestra el comportamiento de un material sometido al esfuerzo de tracción.

Diagrama de un acero blando

Primero la curva tiene un recorrido recto, es decir, la tensión es proporcional a la dilatación. El material tiene un comportamiento elástico. Si se quita el esfuerzo, la pieza de prueba vuelve a su longitud inicial.

Si se aumenta la fuerza de tracción, la dilatación aumenta más rápidamente que la tensión. En caso de descarga, la pieza no recupera la longitud inicial. La tensión aquí alcanzada se denomina límite elástico. Si se sigue aumentando el esfuerzo tiene lugar un alargamiento irreversible, con una tensión más o menos constante. Esta zona se denomina límite de alargamiento.

Si se sigue estirando, el material comienza a «fluir». La tensión aumenta ligeramente y el alargamiento aumenta de forma muy rápida, (visible a ojo desnudo).

La curva alcanza su punto máximo, que es la base para el cálculo en la resistencia a la tracción. A continuación, la pieza de prueba no es capaz de soportar ningún aumento más de la tensión, la dilatación aumenta, la barra se rompe.

¡La resistencia a la tracción no es ninguna magnitud utilizable técnicamente! Generalmente se aprovecha la dilatación de un material hasta el límite de 0,01 % o 0,02 % (límite elástico).

Elasticidad

La elasticidad es la capacidad de un cuerpo, de reaccionar contra una fuerza exterior, con una fuerza contraria interior.*

Si sobre un cuerpo actúan fuerzas, la red que forman los átomos se separa ligeramente en la dirección de las fuerzas de tracción; transversalmente a la dirección de tracción, la distancia entre átomos disminuirá; la pieza cambiará su forma externa. La fuerza de reacción en el interior de la pieza de prueba hace que al interrumpir el esfuerzo exterior, los átomos vuelvan a su posición inicial en la red. La pieza recupera así su forma inicial. Una variación de forma de este tipo se denomina elástica.

Un material altamente elástico es por ejemplo la goma, además muchos materiales plásticos o el acero de muelles.

Después de una deformación elástica, como las varillas en la gafa puesta, el material recupera su forma inicial.

Plasticidad

La plasticidad es lo contrario de la elasticidad: el material no vuelve a su forma inicial después de su deformación; se queda deformado (plásticamente). Las capas del interior de la red cristalina de todos los granos se despla-

* Propiedad de los cuerpos de recobrar su forma primitiva una vez que cesa de actuar la fuerza exterior que motivaba su variación de forma.

zan varias distancias atómicas. Pero el material se mantiene compacto. Al interrumpir el esfuerzo exterior los átomos mantienen su nueva posición en la red, la pieza tiene ahora una forma más alargada.

Ejemplos de materiales de elevada plasticidad son plomo, cobre, alambre de empalme.

Después de una deformación plástica-adaptación de la montura, el material mantiene su nueva forma.

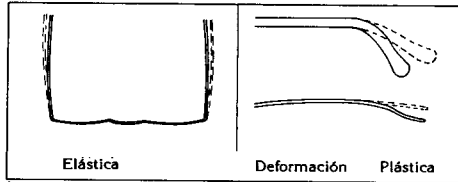


Fig. 2.

Los materiales conocidos por nosotros presentan naturalmente numerosas variantes, comprendidas entre el comportamiento puramente elástico y el puramente plástico; además estas propiedades intermedias varían con la fuerza aplicada, el tiempo de aplicación, la temperatura y otras magnitudes.

El diagrama tensión/dilatación muestra en qué medida se presta un material para la deformación plástica. Materiales, que se dilatan mucho con una pequeña tensión, son buenos para adaptar.

En la siguiente figura se muestran algunas variaciones marcadas del comportamiento tensión-dilatación de algunos materiales:

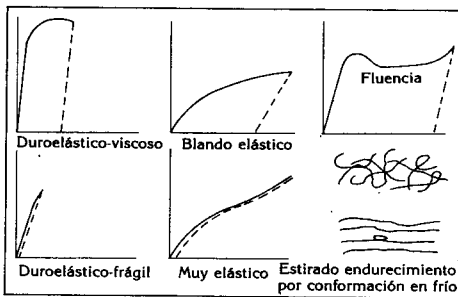


Fig. 3. Comportamiento tensión-dilatación de distintos materiales.

Materiales duroelásticos-viscosos soportan elevadas tensiones, deformándose muy poco. Las partes de las monturas sometidas a elevadas cargas, como puentes, cierres de aro, elementos de las bisagras y articulaciones, se han de fabricar con este tipo de material, como por ejemplo el acero y las aleaciones de cobre.

Materiales duroelásticos frágiles son capaces de soportar fuerzas elevadas sin mostrar deformación, pero la rotura tiene lugar de golpe. Pertenecen a este tipo de materiales el vidrio, la cerámica, el hierro fundido, epóxidos fuertemente reticulados, etc.

Materiales muy elásticos soportan elevadas fuerzas con una fuerte dilatación; su deformación plástica es pequeña. Generalmente, se describe su comportamiento como parecido al de la goma. La goma vulcanizada, por ejemplo, es capaz de soportar elevadas tensiones en cojinetes de motor.

Los materiales blandoelásticos ya se deforman plásticamente con pequeñas fuerzas. El ejemplo más característico es el PVC blando endurecido por conformación en frío.

Conformado

De gran importancia es la deformación de metales y materiales sintéticos es el problema del endurecimiento por conformación en frío. A menudo es deseado este fenómeno, ya que hace aumentar la resistencia sin necesidad de

utilizar medios complicados. En materiales sintéticos se suele denominar conformado. Con esto se consigue con una fuerza de tracción determinada un enderezamiento paralelo de las macromoléculas y por tanto un aumento de la resistencia. Los materiales de polietileno o poliamida se prestan especialmente para esto.

En metales, la deformación de perfiles, barras y hojalatas a menudo no es posible, porque el endurecimiento por conformación en frío alcanza valores tan altos, que el material se rompía. Lo que hay que hacer es recocerlo una o más veces hasta el ablandamiento, para poder seguir deformando el material. La aleación utilizada para monturas (alpaca), alcanza sus elevados valores de resistencia siempre por métodos de endurecimiento por conformación en frío, como el estirado, el doblado, el enderezado y la reducción.

Fragilidad y tenacidad

Como fragilidad se conoce la propiedad de un material de romperse con facilidad sin previa deformación. La fragilidad no es una magnitud definida físicamente. Materiales especialmente frágiles son: piedra, porcelana, vidrio, hierro fundido, madera seca.

Lo opuesto a la fragilidad es la tenacidad. Materiales tenaces se pueden estirar o expandir, sin romperse. Son materiales tenaces el oro, el cobre puro, el plomo.

Dureza

Como dureza se denomina la resistencia de un material a dejarse rayar por otro cuerpo.

En la prueba de dureza sólo se obtienen los valores comparativos sobre la dureza de un material. Sirven para:

- encontrar la herramienta de corte adecuada
- comprobar el éxito de un tratamiento térmico (endurecimiento)
- conocer el desgaste entre dos piezas de trabajo.

Se diferencian los ensayos por compresión, de los ensayos de impacto y la dureza al rayado. Generalmente los métodos de ensayo de dureza son realizables rápidamente y casi sin roturas; permiten por tanto un buen control del fabricado.

En los métodos de compresión la medición de la dureza se realiza con un determinado cuerpo de prueba — técnica: Intendor (esfera, cono, pirámide...) que es comprimido con una velocidad constante y una carga en aumento sobre la superficie. Se mide la impresión que queda en la superficie.

Se diferencian claramente dos casos. Si se mide la magnitud de la impresión con carga, se obtiene la deformación elástica, en cambio, se mide sin carga, solamente se determina la deformación plástica.

Un ejemplo límite de esto es la comparación entre goma y acero. Si se comprime en ambos un cuerpo y se vuelve a quitar, se ve que la goma es más dura que el acero: porque solamente en el acero ha quedado una impresión.

De aquí ya se ve que, según este método, sólo pueden ser comparados materiales parecidos. O dicho de otra manera, no existe un método de ensayo de dureza universal aplicable para todos los materiales.

También en materiales iguales pueden producirse considerables diferencias, por ejemplo, si el espesor de capa, en el que se mide la dureza, es distinto. Como muchas piezas de trabajo sólo están endurecidas en su superficie, para obtener la tenacidad del núcleo de la pieza es necesaria para ensayos de dureza, una indicación del espesor de la capa.

Tabla I. Tabla de métodos de ensayo de dureza

Nom-bre	Intendor	Medida de dureza	Sím-bolos	Uni-dades	Utilización
Brinell	Esfera de acero endurecida	Compresión de la superficie	HB	No tiene Antes: Kp/mm ²	Aceros blandos aluminio, cobre, hierro fundido
Vickers	Pirámide cuadrilátera	Compresión de la superficie	HV	No tiene Antes: Kp/mm ²	Aceros duros piezas nitruradas delgadas
Rockwell	Cono de diamante	Profundidad de penetración	HRC	No tiene	Materiales muy duros
Shore	Martillo cónico aplanado	Capacidad de rebote	Shore A y D	No tiene	Goma, lentes de contacto
Mohs	Cristales	Prueba de rayado	Mohs	No tiene	Para la comparación de materias orgánicas no metálicas con metales

Brinell

En el método Brinell se comprime una bola endurecida de acero o una bola de metal duro, como mínimo durante 10 segundos, sobre la superficie de la pieza. A continuación se mide el diámetro de la impresión d con ayuda de un instrumento de aumento óptico.

La dureza Brinell se da como valor numérico sin unidades.

$$HB = \frac{0,102 F}{A} \quad F = \text{Fuerza de ensayo (N); } A = \text{superficie de compresión (mm}^2\text{)}$$

El número de conversión 0,102 viene dado por el cambio al SI. Por eso medidas antiguas según el método Brinell tienen el mismo valor numérico HB en kp/mm².

Vickers

El método Vickers, utiliza una pirámide regular cuadrilátera de diamante, que deja una impresión de forma cuadrada. A partir de la diagonal d se calcula la superficie de la impresión. El número Vickers HV es:

$$HV = \frac{0,102 F}{A} \quad \text{o} \quad HV = 0,189 \frac{F}{d^2} \quad d = \text{valor medio de las diagonales}$$

Como este método da buenos valores también para fuerzas de ensayo muy pequeñas, también se denomina ensayo de microdureza. Existe un dispositivo en el que el diamante de ensayo está montado en la lente de un microscopio. Permite fuerzas de ensayo de 0,05 a 1 N.

Una variación del ensayo Vickers es el método según Knoop, en el que se utiliza una pirámide de diamante muy estrecha para el ensayo de materiales muy duros.

Rockwell

El ensayo según Rockwell para aceros endurecidos, utiliza un cono de diamante con un ángulo de punta de 120

grados. Este cono se comprime primero con una carga previa sobre la superficie. La profundidad de penetración así conseguida representa el valor inicial para la siguiente medición de profundidad. Después de aumentar la carga de ensayo y luego de quitarla, se lee la profundidad de penetración restante en un indicador calibrado. El valor numérico de la dureza Rockwell representa por tanto, una unidad de medida arbitraria.

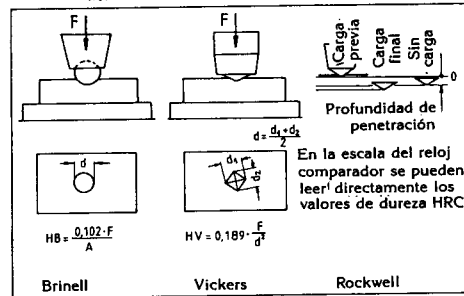


Fig. 4. Ensayos de dureza.

Shore

En el ensayo de dureza por rebote, un pequeño martillo cae sobre la superficie del cuerpo de ensayo, y cuanto más duro sea el cuerpo, más alto rebotará. La escala de dureza según Shore designa la zona determinada arbitrariamente de 0 a 100, correspondiendo 100 a la mayor dureza.

El método según Shore A y D se utiliza para el ensayo de elastómeros (p. ej. lentes de contacto).

Mohs

Para la comparación de la dureza de materiales inorgánicos no metálicos —vidrio, cerámica, barnizados, esmaltados— con materiales metálicos, se utiliza el ensayo de dureza al rayado según Mohs. También los métodos según Vickers (microdureza) y Knoop son apropiados para esto.

Tabla II

Escala de dureza M	Minerales	Microdureza Vickers HV de N/mm ²	Dureza Knoop de N/mm ²	Dureza Mohs calculada M=0,7 √HV
1	Talco	2,4	—	0,9
2	Yeso	36	32	2,3
3	Espato calizo	110	135	3,3
4	Espato flúor	190	163	4,0
5	Apatita	540	395	5,7
6	Feldespatos	800	560	6,5
7	Cuarzo	1.120	750	7,3
8	Topacio	1.430	1.250	7,9
9	Corindón	2.000	—	8,9
10	Diamante	10.000	6.200	15,1*

*Fuente: Hodge HC, y JH Maist: American Mineralogist 19 S 161/168 Ludwig N.: Metalloberfläche 5,5 A38

Los valores numéricos muestran que la dureza de un diamante, comparado con el material corindón, no está situado «un escalón» más alto, sino que es al menos cinco veces mayor.

Completamente confuso es el sistema de ensayos de dureza en el campo de la adherencia, resistencia al rascado, resistencia a la desviación, dureza al rayado o dureza a la carga pendular. Existen aproximadamente 100 métodos, que hoy en día dan resultados no comparables en el campo de las capas finas depositadas sobre las superficies de las lentes. El número de factores influyentes es demasiado grande. Algunos de estos factores son, por ejemplo, el movimiento del cuerpo de ensayo, su velocidad, la carga,

la tensión en la superficie, la capacidad de resbalar, la viscoelasticidad, la capacidad de autopulición, así como la deformación plástica y elástica del cuerpo de ensayo. No es posible por tanto dar un juicio comparativo sobre la calidad de los métodos.

Estructura de aleaciones metálicas y metales puros

Metales Puros

Los metales puros tienen tecnológicamente sólo un significado limitado. Titanio, aluminio, cobre y plomo se utilizan para ciertos campos de aplicación en su forma pura.

En estado líquido todos los átomos metálicos se pueden mover libremente. Si se deja enfriar un caldo metálico, se observa que la temperatura se mantiene algún tiempo constante. Este punto de paro es característico de cada metal; el material vidrio por ejemplo no posee punto de paro.

Durante este período de tiempo el material cristaliza, es decir, se forma la red (o malla) cristalina. Las fuerzas de cohesión hacen posible la formación de la red. Cada cristal crece como si no existiera ningún otro cristal. Sólo cuando chocan los límites de grano, se interrumpe el crecimiento. El cristal vecino tiene el mismo tipo de red, pero generalmente, otra dirección de crecimiento.

Los metales puros tienen un punto de fusión característico (punto de paro). La red cristalina tiene una estructura uniforme. Los límites, en los que los cristales se juntan, se denominan bordes de grano.

Aleaciones

La mayoría de los metales se mezclan con otros metales y también con no metales, para variar sus propiedades según se desee (resistencia, dureza, resistencia a la corrosión, elasticidad, etc.) El proceso de mezcla ocurre en estado sólido, la mezcla se denomina aleación.

Aleaciones son mezclas de metales con otros metales o no-metales, por fusión conjunta.

Algunas aleaciones son tan conocidas que tienen un nombre propio, como por ejemplo:

- acero, aleación maleable de Fe con un máximo de 2 % de carbono
- hierro fundido, no puede ser forjada, aleación de Fe-C, contenido en C: 3-5 %
- latón: aleación de al menos 50 % de Cu y Zn

Las propiedades de los materiales aleados dependen sobre todo del comportamiento de sus componentes en estado sólido. Los diferentes componentes se pueden enlazar en estado sólido de muchas maneras distintas.

Se diferencian fundamentalmente dos tipos de aleaciones:

- cristales mixtos
- mezcla de cristales

Mezcla de cristales

Si los componentes de una aleación no se unen entre sí, sino que cada elemento forma su propia red cristalina, entonces tendremos una mezcla de cristales. Si se observa una mezcla de cristales con el microscopio, se diferencian claramente los distintos cristales. Este tipo de estructura no es muy uniforme, y por lo tanto es difícil cambiar su forma.

Por otra parte, las mezclas de cristales tienen para una determinada mezcla porcentual, temperaturas de fusión especialmente bajas, generalmente son fáciles de fundir.

En la mezcla de cristales los componentes de la aleación forman cristales unos al lado de otros.

Ejemplo:

Estaño para soldar es una mezcla de Pb y estaño. Una aleación con el 68 % de estaño y el 32 % de plomo tiene su menor punto de fusión en 182 °C. Si se añade a esta mezcla de cristales sólo un 1 % de azufre, se astilla más fácilmente, porque la viruta se desprende con mayor facilidad en los límites de los cristales.

Muchas mezclas de cristales forman un buen material para cojinetes, porque los elementos duros pueden ser cargados y los componentes blandos favorecen la lubricación.

Las mezclas de cristales son:

- fáciles de fundir y de soldar
- difíciles de malear
- elevada virutabilidad
- buenos metales para cojinetes

Cristales mixtos

Si los componentes de una aleación se unen de tal manera que forman granos y redes propias, tendremos un cristal mixto. Si se observa una aleación de éstas en el microscopio, no será posible diferenciar los elementos, la estructura no se puede diferenciar de la de un metal puro.

Un aleación de cristales mixtos forma granos y redes comunes.

Hay dos posibilidades en el tipo de formación de red:

- cristales mixtos por inclusión
- cristales mixtos de sustitución.

Cristales mixtos por inclusión

Se forman si los elementos que se añaden a la aleación tienen átomos muy pequeños. Estos se colocan en los huecos del material base.

Ejemplo: Carbono en hierro. La capacidad de inclusión de este tipo de aleaciones está limitada, porque el número de huecos está limitado.

Cristales mixtos por sustitución

Se forman cuando los átomos del otro material sustituyen a los átomos del material base.

Este tipo de mezclas son posibles en cualquier tanto por ciento cuando:

- los tipos de redes son iguales
- los radios atómicos son más o menos iguales
- exista parecido químico

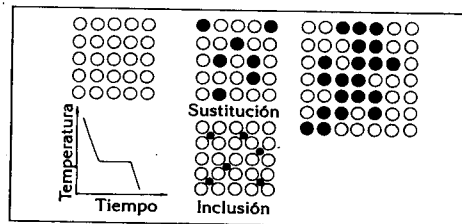


Fig. 5. Estructura de cristales puros y aleaciones.

Ejemplo: cobre y níquel, cobre y oro.

Los radios atómicos del Cu miden $1,277 \cdot 10^{-9}$ m y los de níquel $1,248 \cdot 10^{-9}$ m; ambos metales tienen una red crítica centrada en las caras y son químicamente parecidos.

Los átomos de componentes distintos no se molestan mutuamente si se intenta cambiar la forma al metal, por eso, los cristales mixtos son más maleables y más tenaces.

Cristales mixtos:

- tienen una elevada tenacidad
- son fácilmente maleables
- con frecuencia son más resistentes a la corrosión

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología óptica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvado de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

Bases tecnológicas y materiales metálicos Diagramas de estado

Los diagramas de estado describen la estructura y las temperaturas de transformación de materiales metálicos.

Cada tipo de tratamiento técnico de un material, y también las propiedades de soldaduras, se pueden obtener y seguir con la ayuda de estos diagramas.

Aleaciones y mezclas de cristales

Todos los componentes de la aleación forman uno junto al otro su propia red, pero los cristales están estrechamente unidos entre sí. Aunque se solidifican por separado, los elementos tienen entre sí una fuerte influencia sobre su temperatura de solidificación.

Ejemplo: estaño para soldar, una aleación de plomo-estaño (Pb-Sn). El plomo puro solidifica a 327 °C, el estaño puro a 230 °C. ¿Cuándo solidifican y cómo se comportan las aleaciones de estos dos metales en una relación de mezcla arbitraria?

Para esto se determinan en experimentos las temperaturas de solidificación de diferentes aleaciones y se representan gráficamente en curvas de enfriamiento. Es característico de una mezcla de cristales que una mezcla muy determinada de estos 2 metales —38 % Pb y 62 % Sn—, tenga un punto de fusión muy bajo, incluso por debajo del punto de fusión del metal que funde a la temperatura menor.

Si se observa este tipo de mezcla con un aumento de mil veces, se ve una distribución muy fría de ambos metales. Esta estructura se denomina eutéctico (griego: el que funde bien).

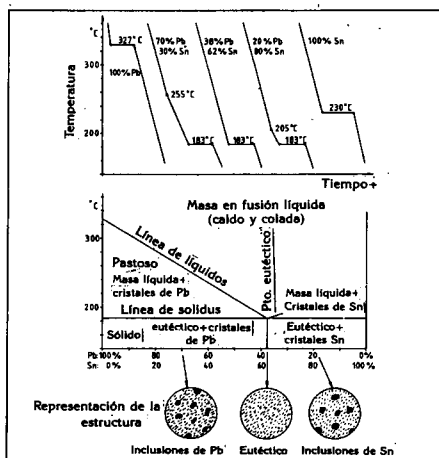


Fig. 1. Curvas de enfriamiento, diagrama de estado y representación de las estructuras de aleaciones plomo-estaño.

Toda mezcla de cristales tiene una aleación eutéctica. El eutéctico:

- muestra la mezcla más fina
- tiene la temperatura de fusión más baja
- solidifica durante el punto de fusión

Metales puros y aleaciones eutécticas tienen un determinado punto de fusión. Toda aleación no eutéctica tiene un intervalo de fusión.

Si las curvas de enfriamiento no se representan en función del tiempo, sino en función de la proporción de mezcla de ambos metales, se obtiene el diagrama de estado de la aleación. Permite obtener el punto de solidificación para cualquier relación de mezcla.

Una aleación no eutéctica separa durante la solidificación el elemento en exceso en forma de pequeños cristales, hasta que la mezcla restante tenga la composición eutéctica. Entonces se solidifica de golpe a la temperatura de solidificación del eutéctico.

Ejemplo: una aleación con 70 % de plomo y 30 % de estaño comienza a solidificar a 255 °C. Los componentes en exceso forman primero sedimentos puros de plomo. Sólo cuando se ha cristalizado tanto plomo que se ha alcanzado la relación eutéctica de 38 a 62 %, solidificará el resto de golpe a 183 °C.

La temperatura a la que todos los componentes están líquidos, se denomina la temperatura de liquidus.

La temperatura a la que todos los componentes están sólidos se denomina temperatura de solidus.

El intervalo de fusión de una aleación eutéctica puede ser ancha o estrecha.

Si se suelda con una soldadura no eutéctica, empezará a fundirse el primer componente de la soldadura, cuando otros componentes de la soldadura todavía están sólidos. Por la acción capilar, estos componentes ya pueden penetrar en la grieta a soldar. Entonces los componentes que funden a mayor temperatura producirán un residuo, que se diferenciará químicamente de la primera masa fundida.

Aleaciones con formación de cristales mixtos

Como ejemplo sirven los metales Cu y Ni, profusamente utilizados en la fabricación de monturas.

Los átomos de cobre y níquel forman en este tipo de aleación una red común. Es característico de los materiales mixtos, que, independientemente de la relación de mezcla, no solidificarán a ninguna temperatura determinada, sino que siempre en un intervalo de temperaturas. No existe ningún eutéctico.

El intervalo de solidificación puede ser grande o pequeño, según el porcentaje de la mezcla de ambos metales.

El cobre puro funde a 1.083 °C, el níquel puro a 1.455 °C. ¿Cuándo solidifica una mezcla de 50 % Cu y 50 % Ni? Si se representan las curvas de temperatura de esta y de otras aleaciones de Cu-Ni, se obtienen las ya conocidas curvas de enfriamiento. La representación es más clara, si no se representa en función del tiempo, sino en función de las relaciones de mezcla de los componentes. Se obtiene el diagrama de estado, en el que se pueden ver el comienzo y el final de la solidificación y de la fusión de cualquier mezcla.

Entre la línea de solidus y la línea de liquidus, la aleación es pastosa.

Aleaciones con cristales mixtos solidifican/funden dentro de un intervalo de temperatura. Los diagramas de estado de aleaciones de cristales mixtos tiene la característica «forma de cigarro».

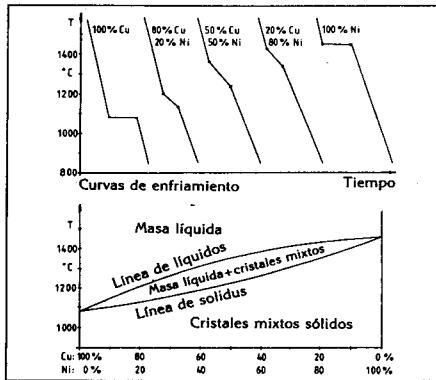
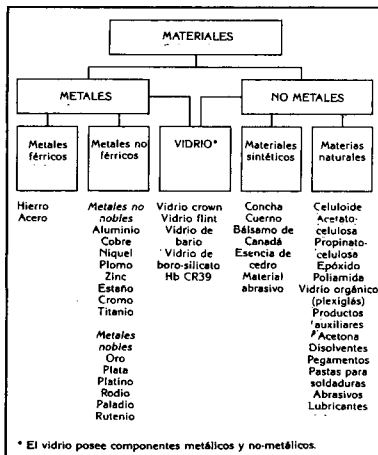


Fig. 2. Diagrama de estado cobre-níquel, solubilidad en estado líquido y sólido.

Materiales

La siguiente clasificación de los materiales sólo representa una de las muchas posibilidades de clasificación. También son habituales las clasificaciones según las propiedades de los materiales (físicas, tecnológicas, químicas), u otras clasificaciones como dividir los metales, por ejemplo en metales ligeros y metales pesados. Además falta en esta clasificación el grupo de las materias compuestas que va ganando importancia en grandes áreas de la técnica, pero que no la tiene tanto en la óptica oftálmica. A partir de la gran variedad de materiales se han de elegir aquellos que para un determinado uso sean los más apropiados.

Tabla I. Clasificación de los materiales del óptico



Materiales metálicos

Materiales de hierro y acero

Producción de hierro bruto, mineral de hierro

El hierro existe en la naturaleza en cantidades casi inagotables. Pero su extracción sólo vale la pena si las rocas contienen al menos un 20 % de hierro.

Las combinaciones químicas en el mineral de hierro están compuestas por oxígeno (ox. de Fe), así como azufre, fósforo, silicio y manganeso. Los minerales ferruginosos se preparan, es decir, se separan las impurezas más importantes y se desmenuza en granos de unos 30 mm.

Proceso de alto horno

En el alto horno se reducen los minerales ferruginosos preparados en bruto. Reducir, significa extraer el oxígeno. Esto ocurre en el alto horno por medio de carbono y monóxido de carbono. Para esto se alimenta el alto horno con una mezcla de mineral de hierro, cal, grava y coque.

El coque proporciona:

- la E de combustión para la fusión
- el C para la reducción

Los productos del alto horno son:

- fundición blanco
- fundición gris
- escoria y gas de alto horno

Tabla II

	Arrabio blanco	Arrabio gris
Área de rotura	Brillo blanco	Gris color grafito
Estructura	En forma de rayos	En grano basto
Otros elementos	C 4-4,5 Si menos de 1 % Mn 1,3 Ph menos de 0,25 %	C 3,5-4 % Si 2,5-3 % Mn menos que 0,8 % Ph menos que 0,7 %
Inclusión del C	El C está combinado como carburo de hierro y distribuido en la estructura base	C en estado de grafito unido a la estructura
Utilización	Producto intermedio para la fabricación del acero	Para elaboración de hierro fundido y fundición maleable
El arrabio es muy frágil El arrabio no es maleable ni soldable		

Aproximadamente el 90 % del arrabio es fundición blanca, que luego se ennobrece a acero. Para eso se deberá disminuir el alto contenido en C así como separar impurezas de S, P, y Si.

La fundición gris se convierte por añadidura de Ca y Mg, así como por el mantenimiento de una exacta temperatura, en hierro fundido de estructura modular de alta calidad.

Producción del acero

El acero es una aleación de hierro y carburo de hierro formable, con un contenido en carbono menor al 2 %.

Con distintos métodos de la producción del acero se denomina afinado:

- procedimiento al convertidor de oxígeno aprox. un 70 %
- procedimiento Siemens-Martin aprox. un 20 %
- procedimiento eléctrico aprox. un 10 %

Procedimiento al convertidor (Procedimiento Linz-Donawitzer)

En 1952 se probó por primera vez a escala industrial en la siderúrgica Linz-Donawitzer, y es mundialmente conocido como procedimiento LD.

Se inyecta oxígeno puro bajo una presión de 10 bar a través de una lanza refrigerada por agua, directamente sobre la fundición. Esto provoca fuertes reacciones por la combustión del C. Los otros óxidos de Fe se combinan con cal, formando escoria.

Aceros LD son aceros al oxígeno; son pobres en tensiones y resistentes al envejecimiento.

Procedimiento Siemens-Martin

El procedimiento SM se desarrolló hace unos 100 años para el aprovechamiento de chatarra. En un horno en forma de artesa calentado por gas o aceite, se mezclan 70 % de chatarra, arrabio, líquido blanco y cal. Una llama con un elevado exceso en oxígeno afina la masa en fundición.

Tabla III. Composición porcentual

Acero LD	C	Mn	P	S	N		
	0,05	0,3-1,5	0,01	0,02	0,03		
Acero SM	C	Mn	Si	S	P		
	0,06-0,2	0,4-1,5	0,4	0,04	0,04		
Acero noble	C	Si	Mn	Ni	Mo	W	Co
	0,1-0,5	0,3	0,5	10	5	0,5	2

El acero SM tiene pocas impurezas y una estructura regular; los aceros fundidos se denominan aceros de calidad.

Procedimiento eléctrico

Se utiliza la acción calorífica de un arco eléctrico. Las temperaturas son de hasta 3.500 °C. Se obtienen por elevadas intensidades de corriente entre los electrodos de carbono.

Los aceros de construcción y de herramientas de alta calidad, se funden casi exclusivamente según este procedimiento. Debido a su gran pureza y regularidad estos materiales se suelen designar como aceros nobles o aceros especiales.

Acero y sus elementos de aleación

Las propiedades del acero y del hierro vienen determinadas esencialmente por sus elementos de aleación. Un elemento añadido influye sobre el hierro y el acero:

- según su contenido porcentual
- según su reacción con otros elementos

Se utiliza entre:

- elementos no metálicos: C, N, Si, S, P.
- elementos metálicos: Cu, Co, Mn, Mo, N, V, W.

Las numerosas posibilidades que se forman por combinación de estos elementos de aleación, permiten obtener el acero óptimo para cada finalidad de uso.

En general, se diferencian tres grupos de acero:

- aceros de construcción (aceros dulces) no aleados
- aceros de calidad aleados y no aleados
- aceros nobles aleados y no aleados

Ejemplos de aplicación

— acero de construcción St 37, resistencia a la tracción mínima, 370 N/mm²

— acero de calidad no aleado, C 60

C=carbono 60=0,6 % C

apropiado para tratamiento térmico (endurecimiento) aplicación: para herramientas sencillas como martillos, tenazas, punzones.

— acero noble no aleado Ck 22

k=pequeños componentes de azufre y fósforo, C=carbono, 22=0,22 % C

aceros aleados se clasifican en:

— débilmente aleados, algún elemento de adición no alcanza un 5 %.

— altamente aleados, más del 5 % en elementos de adición.

— acero de calidad aleado 45 CrMoV 67 0,45 C, 1,5 % cromo, 0,7 %, molibdeno, muy poco vanadio.

aplicación: herramientas de alta calidad como reglas de cálculo, cortador de roscas, herramientas de embutir, troqueles.

— acero noble, altamente aleado X 10 CrNi 18 8.

X= símbolo característico de este tipo de aceros altamente aleados; 0,1 % C, 18 % Cr, 8 % Ni.

Aplicación: acero inoxidable para aparatos de cocina, recipientes, instrumentos de la industria química.

— acero de herramientas altamente aleado S 6-5-2-5 con 6 % wolframio, 5 % molibdeno, 2 % vanadio, 5 % cobalto.

Herramientas resistentes a la temperatura de hasta aproximadamente 600 °C. Para monturas de gafas se utilizan hace algunos años aceros nobles del tipo X 5 CrNi 18 10 y X 2 CrNi 18 11. Estos aceros cumplen muy bien las exigencias de resistencia a la corrosión, pero son, al igual que todos los aceros nobles, muy difíciles de trabajar y tienen un color blanco-grisáceo poco vistoso. Por este motivo hoy en día ya casi no se fabrican monturas de acero noble.

Diagrama hierro-carbono

El acero es una aleación de Fe y C, cuya formación y variación de estructura se representa en el diagrama de estado Fe-Fe₂C.
El acero contiene como máximo un 2,00 % de C.

El diagrama Fe-C consta esencialmente de dos partes:
— forma de cristales mixtos a temperaturas superiores a 1.147 °C.

— forma de mezcla de cristales desde temperatura ambiente hasta 1.147 °C.

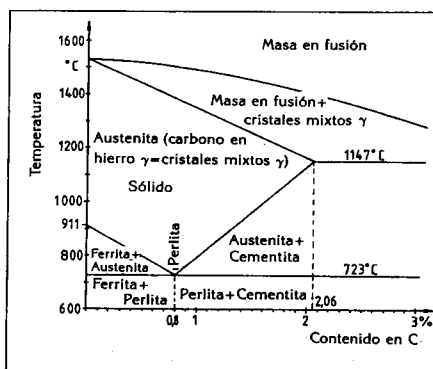


Fig. 3. Diagrama hierro-carbono.

Las masas de acero fundidas de cualquier composición solidifican primero a cristales mixtos. Los átomos de Fe tienen estructura cúbica centrada en las caras, los átomos de C se encuentran en los huecos de la red.

Este tipo de agregado se denomina cristales mixtos γ o austenita.

Al seguir disminuyendo la temperatura, la austenita se convierte en una mezcla de cristales. Está compuesta por hierro puro y cementita.

Se designa como cementita al compuesto Fe₃C (carburo de Fe). El Fe puro se convierte en una red cúbica centrada en el cuerpo que se denomina ferrita o hierro.

¡Esta transformación ya tiene lugar en estado sólido!

Como todas las mezclas de cristales, el acero también posee un agregado eutéctico. Se forma una mezcla especialmente fina para un contenido en C de 0,8 %. Los cristales mixtos γ se transforman eutécticamente a 723 °C en ferrita y cementita.

La ferrita y cementita friamente distribuida está dispuesta en capas y da a este agregado un aspecto nacarado. Por esta razón se denomina perlita.

El agregado de acero depende del contenido en C:

- Acero con 0-0,8 %C ferrita y perlita
- Acero con 0,8 % C perlita eutéctica
- Acero con 0,8 - 2,06 % C perlita y cementita

Austenita: cristales mixtos γ con red cúbica centrada en las caras. Contiene a 1.147 °C un máximo de 2,06 % C
Ferrita: Fe-α con red cúbica centrada en el cuerpo, casi no contiene C.

Cementita: compuesto entre Fe y C=Fe₃C.

Con el acero con un 0,8 % de C tiene estructura laminada.

Pperlita: agregado eutéctico de ferrita+cementita.

Se forma a 723 °C y contiene un 0,8 % C.

Tratamiento térmico del acero

Las propiedades del acero pueden variar decisivamente por un tratamiento térmico.

Se conocen:

- recocido (de ablandamiento, normal, de estabilización, de recristalización).
- templeado
- revenido
- mejorado

Recocido de ablandamiento

Si el acero perlítico está destinado al mecanizado (herramientas cortantes), estará expuesto a un fuerte esfuerzo, con lo que las duras laminillas de cementita se pueden romper.

Por un recocido de ablandamiento se obtiene una estructura apoltonada de la cementita. Para eso se ha de calentar el acero durante varias horas a 723 °C.

Recocido normal (Recocido de afino de grano)

El recocido normal sirve para «normalizar» el agregado después de haber sido sometido a soldadura, fundición o forjadura.

Se calienta el acero por corto tiempo, a la temperatura austenística, recobrando el acero una textura normal de recocido.

Recocido de estabilización

Fuertes tensiones internas del acero como consecuencia de tratamientos mecánicos, pueden ser disminuidas por un largo recocido a temperaturas entre 500 °C y 600 °C.

Es importante un enfriamiento lento. También es posible una eliminación de tensiones internas por vibraciones mecánicas.

Reconocimiento de recristalización

En todo moldeado en frío (laminado, martillado, forjado, prensado, estirado, doblado y enderezado), se produce por un alargamiento de la estructura un endurecimiento en frío.

En la fabricación de monturas se aplica el endurecimiento en frío para moldear las gafas.

Por endurecimiento en frío se obtiene:

- mayor resistencia
- mayor dureza
- menor dilatación

Como a menudo no es posible llevar los materiales en un sólo paso a su forma final, se han de recocer los materiales después de un moldeado en frío, para devolverle la maleabilidad.

Los aceros se recocen a una temperatura a 700 °C. Se forman nuevos granos (recristalización).

El agregado recristalizado vuelve a ser maleable.

Templeado

Con el acero se pueden fabricar piezas duras y resistentes al desgaste.

Piezas endurecidas son, por ejemplo:

— limas, terrajas, fresas, puntas lanzadoras, agujas de marcar, herramientas de corte.

Los aceros endurecibles han de tener un contenido mínimo en C de 0,4 %. Los aceros son endurecibles porque se obtienen por un enfriamiento más rápido o más lento a partir de austenita, agregados de diferente dureza.

Se endurecen aceros, calentándolos primero hasta que el agregado esté compuesto exclusivamente por austenita. La temperatura a la que hay que calentar un determi-

nado tipo de acero se denomina temperatura de templeado. Se obtiene a partir del diagrama Fe-C.

— *Enfriamiento lento-Perlita*

Si el enfriamiento es lento se obtiene perlita.

Perlita es un agregado de Fe (sin C) con red centrada en las caras. El C está metido en este agregado en forma de láminas de cementita. (FeC).

— *Enfriamiento rápido-martensita*

Si el enfriamiento es rápido, los átomos de C no tienen tiempo de salir de la red. Son encerrados en los huecos del hierro de red cúbica centrada en el espacio y lo sujetan. En la micrografía del agregado del acero templeado se observa que tiene forma de aguja. Se denomina martensita.

La martensita sólo se forma si la velocidad de enfriamiento es muy elevada. Depende del contenido en C.

Ejemplo: Acero con un 0,8 % se ha de enfriar a una velocidad de 200 ° por segundo, para que forme martensita.

Las piezas grandes se enfrían más rápidamente en la superficie. Hacia el centro la velocidad de enfriamiento disminuye tanto, que no se endurecen. La profundidad hasta la cual se puede formar martensita se denomina penetración o profundidad de temple.

Con el templeado se «encierran» átomos de C en la red cúbica centrada en el campo del hierro.

Esta red tiene una elevada resistencia y dureza, pero una ductibilidad y tenacidad disminuidas.

Revenido

El revenido es un tratamiento térmico a temperaturas entre 200 °C y 280 °C, y que sigue al templeado.

En el revenido se conserva el agregado endurecido de martensita. Pero debido al suministro de E, átomo de C con una posición poco favorable, pueden ocupar un mejor sitio en la red. La resistencia y dureza se mantiene, la tendencia a rotura por tensiones disminuye.

Las temperaturas de revenido necesarias se pueden determinar con un poco de experiencia a partir del color de la capa de óxido, que se forma en la superficie de las piezas. Se denominan colores de revenido.

Los colores de revenido no se deben eliminar, pues constituyen una cierta protección a la corrosión.

Tabla IV.

Color de revenido	Temperatura	Aplicación
Blanco-amarillo	200 °C	Temple vítreo
Amarillo-dorado	230 °C	Pequeños destornilladores
Marrón-rojizo	250 °C	... punzones, fresas
Violeta	280 °C	Destornilladores grandes
Azulado	300 °C	Temperatura demasiado elevada, inútil

Mejorado

El mejorado es un templeado, seguido de un revenido a temperatura entre 400 °C y 700 °C.

Para el mejorado sirven determinados aceros.

En el mejorado, las temperaturas y los tiempos se han de cumplir exactamente.

Se trata por tanto de un procedimiento de tratamiento térmico, puramente industrial.

El resultado del mejorado es una pieza de elevada tenacidad con una resistencia a la tracción garantizada.

Tecnología para Ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología óptica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrasa.

Materiales metálicos

Materiales no férricos

Los materiales no férricos son de gran importancia para el óptico. Un repaso a la historia de la fabricación de monturas de gafas, muestra que ya se utilizaban antiguamente aleaciones de cobre y níquel, como material para monturas.

Cobre	Símbolo químico	Cu	63,9 29	Cu
-------	-----------------	----	------------	----

Propiedades físicas:

- densidad: 8,93 g/cm³
- punto de fusión: 1083 °C
- red: cúbica centrada en las caras.

Propiedades químicas: resistencia a la corrosión.

Propiedades tecnológicas: (con recocido de ablandamiento)

- resistencia a la tracción: 220 N/mm²
- alargamiento de rotura: 40 %
- dureza: 50 HB

Descripción:

Este metal marrón rojizo se caracteriza por las siguientes propiedades tecnológicas:

- conductividad eléctrica excelente
- conductividad técnica buena
- estable frente a influencias atmosféricas
- muy buena maleabilidad en frío.
- tenaz y dúctil en todas las zonas de temperatura.

En puro tiene una resistencia pequeña, pero que puede ser aumentada considerablemente —más del doble— por deformación en frío. También se aumentan considerablemente las propiedades de resistencia con aleaciones.

Existencia y obtención

El cobre sólo aparece muy pocas veces como metal puro, se obtiene principalmente a partir de otros minerales: la pirita de cobre CuFeS₂ y el cobre vidrioso Cu₂S.

El azufre se separa por calcinación, y el cobre puro obtenido de esta manera, se refina en el horno, obteniendo cobre de forja refinado, o por electrólisis se consigue cobre electrolítico.

Utilización

El cobre puro se utiliza como cable para la corriente, punta de soldador, recipientes, tuberías o capas.

Las aleaciones de cobre son los materiales clásicos de la fabricación de gafas. No existe ninguna pieza de montura que no se pueda fabricar de compuestos de cobre, al menos de manera satisfactoria.

Compuestos de cobre

Los elementos de aleación del cobre más importantes son: níquel, zinc, estaño, aluminio, plomo, hierro y berilio.

Las aleaciones de cobre se clasifican en:

- Latón
- Bronce
- Plata nueva (argentan)

Latón

Es una aleación de cobre y zinc con un mínimo de 50 % de cobre, y zinc como componente fundamental de la aleación.

Ejemplo: Latón 85 85 Cu
 15 Zn

Bronce

Es una aleación de cobre y estaño con un mínimo de un 60 % de cobre y uno o más componentes de aleación, teniendo que ser el contenido en estaño mayor al de zinc.

Ejemplo: bronce de estaño 6 % Sn
 94 % Cu

El bronce se denomina a menudo según sus componentes principales, por ejemplo:

bronce de aluminio CuAl...
bronce de manganeso CuMn...
bronce de plomo CuPb...
bronce de estaño-plomo CuPb...Sn

Plata nueva

La plata nueva es una aleación de cobre-cinc, que contiene un 10 a 25 % de níquel. También se la denomina alpaca.

Ejemplo: (Alpaca) Cu 65 %, Zn 23 %, Ni 12 %
(Niquelina) Cu 62 %; Zn 20 %, Ni 18 %.

Plata nueva es el clásico material de las monturas; también tiene gran aplicación en:

- joyas
- cubiertos
- piezas de mecánica de precisión y fotografía
- aleaciones para monedas
- resistencias, reostatos etc para la industria eléctrica.

Aleaciones de cobre en la industria óptica

Para poder cumplir con las diferentes exigencias de piezas como varillas, aros, puentes de la montura, soportes nasales, barriletes etc, se utilizan en la industria aproximadamente una docena de aleaciones de cobre distintas. Se trata de:

• latón 85	Cu 85 % Zn 15 %
• bronce de estaño	Cu 94 % Sn 6 %
• bronce 48	Cu 82 % Zn 11 % Sn 5 % Ni 2 %
• plata nueva (alpaca)	Cu 65 % Zn 23 % Ni 12 %
• plata nueva (niquelina)	Cu 62 % Zn 20 % Ni 18 %
• blanca-Z	Cu 61 % Zn 14 % Ni 25 % Sn 2 %
• platinina	Cu 60 % Zn 15 % Ni 25 %
• isotan	Cu 55 % Ni 44 % Mn 1 %
• monel	Cu 30 % Ni 68 % Mn 1 % Fe 1 %
• cobre-berilio	Cu 98 % Be 2 %

En el sentido estricto, el isotan y el monel ya no pertenecen a las aleaciones de plata nueva, debido a su elevado contenido en níquel, por lo que pertenecen a las aleaciones de níquel.

La plata nueva clásica se siguió desarrollando; su desventaja principal, su poca estabilidad a la corrosión, se ha mejorado notablemente con aleaciones con un mayor contenido en níquel. Especialmente para las exigencias de la industria de la óptica ocular, se desarrollaron las aleaciones blanca-Z y el monel.

La ventaja de estas aleaciones parecidas a la plata nueva de elevado contenido en níquel, está además en su considerable aumento de la dureza tanto en estado de recocido de ablandamiento, como en estado deformado.

Característica de los materiales mencionados es un aumento de la dureza por deformación, como la que tiene lugar forzosamente en la fabricación de monturas. Además todos los materiales pueden ser ennoblecidos por plakeado o por recubrimientos galvánicos.

Al final hacemos una corta valoración crítica de los materiales más utilizados.

Níquel	Símbolo químico	Ni	58,7 28	Ni
--------	-----------------	----	------------	----

Propiedades físicas:

- densidad
- punto de fusión
- red: cubica centrada en las caras

Propiedades químicas: altamente estable a la corrosión, también frente a muchos ácidos y bases.

Propiedades tecnológicas:

- resistencia a la tracción: 400N/mm² (con recocido de ablandamiento)
- dureza: 70 HB

Descripción:

El níquel es un metal tenaz, dúctil, de brillo plateado y de elevada resistencia a la flexión. Es maleable en frío y caliente, y también soldable.

El níquel se puede alea con el cobre en cualquier relación. Con sólo 25 % Ni y con 75 % de Cu, ya se obtiene el metal plateado para monedas.

Níquel es un componente imprescindible para plata nueva, blanca-Z, monal bronce y acero noble.

Utilización

Para varillas, cierres de aro, base para chapados.

Aluminio	Símbolo Químico	Al	27 17	Al
----------	-----------------	----	----------	----

Propiedades físicas:

- densidad
- punto de fusión
- red: cúbico centrada en las caras

Propiedades químicas: Estable a la corrosión gracias a su fina pero dura capa de óxido, que en caso de deterioración se vuelve a formar en pocos segundos.

Propiedades tecnológicas:

- resistencia a la tracción
- dureza

Descripción:

La propiedad más destacable es su pequeño peso específico (sólo 1/3 del acero), lo que lo clasifica como metal ligero. Este metal plateado tiene en estado puro una baja resistencia y una superficie blanda. Por la formación de capas protectoras de óxidos, tiene una buena resistencia a las influencias atmosféricas y a sustancias químicas.

Es uno de los pocos metales que se utiliza en estado puro. Es dúctil y fácilmente maleable en estado frío, por compresión, estirado y laminado. Es característica su utilización para cables, láminas, tubos, tuberías y bisutería.

La capa de óxido, incolora y densa del Aluminio puro, puede ser reforzada artificialmente por métodos químicos y electroquímicos.

Oxidación Química:

Los objetos de aluminio se suspenden en solución salina caliente (sosa y cromato de sodio). Sobre los objetos se deposita así una capa natural de óxido, esta capa a menudo se colorea utilizando otras soluciones.

Oxidación electroquímica: (método eloxal)

Con una oxidación electroquímica se puede obtener una capa de óxido mayor al espesor de la capa natural. El objeto de aluminio se utiliza para eso como ánodo. La capa así obtenida no es tan porosa como la obtenida por la oxidación química. Puede ser también coloreada y posteriormente barnizada.

Existen muchas aleaciones de aluminio, pero es difícilmente soldable debido a la capa de óxidos que continuamente se regenera.

Pequeñas adiciones de otros elementos como silicio, manganeso, magnesio y cobre, aumentan la resistencia y la dureza.

Aluminio. Procedencia y obtención

Debido a su elevada afinidad al oxígeno, el aluminio no se encuentra en estado puro; se encuentra fundamentalmente en feldespatos, mica y greda.

La principal materia prima para la obtención del aluminio es la bauxita, con un contenido en arcilla de aproximadamente el 60 %. La bauxita, se trata con hidróxido sódico, obteniéndose a través del aluminato de sodio, arcilla pura Al₂O₃, que luego es reducida a 900 °C en estado líquido por electrólisis a aluminio puro.

La cantidad de energía eléctrica necesaria para esto es enorme —aproximadamente 20 kWh/Kg Al— y determina esencialmente el precio de este material. Baños de aluminio tiene para una tensión de 5-6V, una intensidad de 100.000 A. y más.

Aplicación:

Sobre todo para decoración porque al aluminio se le pueden dar muchos tonos de colores por el método eloxal. Para varillas se utiliza la aleación de aluminio AlMn 0.5 Si 0.5

Tiene las siguientes propiedades: Dureza Vickers HV 5: 300 N/mm² después del recocido de ablandamiento 500 N/mm² después de una deformación del 60 % y hasta 700 N/mm² después de deformado y recocido.

Zinc	Símbolo Químico	Zn	65,4 30	Zn
------	-----------------	----	------------	----

Propiedades físicas:

- densidad
- punto de fusión
- red: hexagonal

Propiedades químicas: Estable a la corrosión del aire.

Propiedades tecnológicas:

- resistencia de tracción
- dureza

Descripción:

El zinc es un metal de color plateado relativamente blando y con un punto de fusión bajo.

Se funde fácilmente y también se puede moldear en frío y caliente. Como material de construcción en la óptica de las gafas, no se puede utilizar; como elemento para aleaciones de Cu y Ni es casi imprescindible. El latón es una aleación Cu-Zn

Utilización:

Elemento para aleaciones.

Estaño	Símbolo químico	Sn	118,7 50	Sn
--------	-----------------	----	-------------	----

Propiedades físicas:

- densidad
- punto de fusión
- red: tetragonal

Propiedades químicas: Estable a la corrosión en aire y agua, no frente a ácidos.

Propiedades tecnológicas:

- resistencia a la tracción
- dureza

Descripción:

El estaño es un metal muy blando y muy dúctil, con un punto de fusión bajo (soldaduras Pb-Sn).

Este material de color plateado y brillante es un importante elemento para aleaciones de Cu y aleaciones de aluminio: el bronce es una aleación de Cu-Sn.

Cromo	Símbolo Químico	Cr	52 24	Cr
-------	-----------------	----	----------	----

Cromo es un metal de elevada dureza y muy buena resistencia a la corrosión. Este elemento blanco-azulado se deposita galvánicamente sobre una base de Cu-Ni, como protección decorativa y eficaz contra la oxidación.

Monturas con cromado abrillantado ofrecen una protección óptima a la corrosión durante años y un acabado perfecto.

El *cromado negro* es una técnica en la cual se mezcla cromo metálico y óxido de cromo, en una relación determinada.

Aplicaciones: aplicada galvánicamente, como protección de superficie altamente estable a la corrosión.

Plomo	Símbolo químico	Pb	207,2 82	Pb
-------	-----------------	----	-------------	----

Propiedades: Elevada densidad, punto de fusión bajo y dureza muy baja.

El plomo es estable frente a muchas sustancias químicas.

Aplicaciones: Elemento para aleaciones.

Titanio

Propiedades: Tiene una baja densidad, y propiedades de resistencia parecidas a las del acero.

Es absolutamente resistente a la corrosión como un metal, noble, pero muy difícil de trabajar. Es difícil informarse sobre soldaduras de conexión constructivas seguras, pero desde 1983 están en el mercado monturas de titanio. Ya se han elaborado chapados de titanio en el laboratorio.

Además se utiliza industrialmente como elemento decorador, porque tiene numerosas y muy bonitas variantes de color y estructuras de superficie.

Berilio

Se utiliza en cantidades entre 0,5 y 2 % para aleaciones de Cu. Se obtiene una aleación endurecible en frío y caliente, con propiedades mecánicas excelentes. El material es parecido al acero de resortes, posee tanto una elevada resistencia como buena elasticidad. Otros elementos para aleaciones son:

Magnesio (Mg), para aleaciones de aluminio y manganeso (Mn) para aleaciones de Cu-Ni.

Exigencias a una montura metálica

Las exigencias a una montura metálica han variado con el tiempo. Anteriormente lo más importante era una sujeción segura de las lentes en una estructura de madera o metálica. Con los años, el costoso producto "gafa", obtuvo un diseño casi parecido a una joya. Hoy en día las exigencias a una montura son muy numerosas; los criterios más importantes son:

- elevada resistencia a la corrosión
- resistencia de las piezas, elasticidad

- dureza de la superficie
- buenas propiedades elásticas, sobre todo de las varillas y del aro
- poco peso
- fácil trabajado para el fabricante y el óptico
- diseño, color y forma moderna
- precio económico.

Más detalles sobre cada punto:

La resistencia a la corrosión es naturalmente por motivos higiénicos. Además las secciones transversales del material, a menudo delgadas, no permiten por motivos constructivos un debilitamiento del material por oxidación.

La seguridad se consigue sólo por un material absolutamente resistente —metal noble refriado ti, Cr, Al, o acero noble— o por su total recubrimiento de un metal anticorrosivo impermeable, sobre un núcleo de material no noble.

Un recubrimiento de color o de material sintético llevará tarde o temprano a problemas. A pesar de que se han hecho progresos, este tipo de monturas puede, aunque no forzosamente, estropearse en pocos meses.

La resistencia de las piezas concierne sobre todo a aquellas piezas expuestas a la deformación como el apoyo nasal, el puente y el talón.

Con una buena elección de tamaño y de material, se ha de llegar a un compromiso: por una parte la gafa ha de poder ser ajustada correctamente, por otra no debe deformarse demasiado rápidamente en su uso cotidiano.

Dureza de la superficie es necesaria para no tener que llevar en poco tiempo una montura rayada y de mal aspecto, que además será menos resistente a la corrosión. También aquí es válido que una superficie de material plástico nunca puede ser tan dura como la de metal.

Buenas propiedades elásticas sobre todo de las varillas y de los aros, son otro criterio. Una elasticidad demasiado elevada significa para las varillas una presión elástica deficiente para poder llevar lentes más pesadas. Pero una varilla demasiado rígida es incómoda de llevar. Una varilla de calidad está reducida y estampada, porque la acuñación permite el confort de zonas de distinta elasticidad. Lo mismo es válido para aro: No debe ser ni demasiado blando ni demasiado duro para no ser percibido por el portador de gafas de forma molesta. También el óptico apreciará una gafa a la que le sea fácil montar las lentes.

Comparación con otro objeto técnico: la bicicleta

Un buen cuadro de bicicleta también debe tener la dureza y elasticidad adecuada. Entre una bicicleta de 149 DM en las rebajas y una bicicleta de calidad por 600 DM ¡Existe diferencia! Quien quiera observar más diferencias, debería comparar una bicicleta de aluminio de coste elevado, con una bicicleta igualmente costosa de acero: el cuadro de aluminio siempre será más duro que un buen cuadro de acero. El acero es un material "más vivo" y más adecuado para bicicletas. Las ventajas de una bicicleta de aluminio están en su resistencia a la corrosión y en su peso.

De forma parecida, una montura no debería estar construida ni demasiado rígida ni muy blanda.

Un portador de gafas, que lleva una montura diariamente 16-18 horas, quiere naturalmente, una montura ligera. Pero más ahorro en monturas metálicas sólo es posible disminuyendo la sección transversal de los perfiles. Para este tipo de reducción es necesaria la utilización de nuevos materiales altamente resistentes. Pero según la situación de la técnica hoy en día, lo que es decisivo es el peso de las lentes.

El fabricante de monturas finalmente exigirá un material que se pueda doblar, acuñar, fresar, desbastar, soldar y chapar galvánicamente.

Por último, también es de gran importancia un diseño moderno, así como el precio del material.

Descripción de los materiales de montura

La valoración crítica de los materiales presentados en las tablas:

Tabla I. Materiales usuales para monturas de gafas metálicas.

Material	Composición % en peso	Dureza Vickers HV 5 en N/mm ² recocido de ablandamiento después de 60 % de deformación	Densidad	Temperatura de recocido de ablandamiento en °C
Latón 85	Cu Zn 15	650-1.300	8,9	600
Bronce de estaño	Cu Sn 6	800-2.100	8,9	700
Bronce 48	Cu Ni 2 Zn 11 Sn 5	800-1.850	8,9	700
Plata nueva (alpaca)	Cu Ni 12 Zn 23	900-1.750	8,7	650
Plata nueva (níquelina)	Cu Ni 18 Zn 20	950-1.850	8,7	650
Blanca-Z	Cu Ni 23 Zn 14 Sn 2	1.050-2.150	8,8	720
Platinina	Cu Ni 25 Zn 15	1.100-2.000	8,8	700
Isotan	Cu Ni 44 Mn 1	1.200-2.150	8,8	780
Monel	Cu Ni 68 Fe 1 Mn 1	1.250-2.350	8,9	780
VM-níquel	Ni 98 Mn 2	1.000-2.250	8,9	720
KM 4 (rotal, akutan)	Cu Ni 20 Mn 20	1.200-2.500	8,4	800
Cu-Be	Cu 98 Be 2	1.000-2.400	8,9	740

La dureza máxima después de deformado y endurecido es para berilio de Cu 4100 y para KM y 5000

Tabla II. Valoración de las propiedades para las exigencias especiales de la industria óptica

Material	Propiedades							Color
	Res. corrosión	Haleabilidad	Prop. plásticas	Soldadura	Soldado	Pulido		
Latón 85	5	1	4	2	4	1	Amarillo	
Bronce de Estaño	5	1	1	1	2	1	Rojo-Amarillo	
Bronce 48	4	1	1	2	2	1	Amarillo-dorado	
Plata nueva (alpaca)	4	1	3	1	2	1	Blanco-amarillo	
Plata nueva (níquel)	3	1	2	1	2	1	Blanco	
Blanca z	2	1	1	1	2	1	Blanco	
Platinina	2	1	3	1	2	1	Blanco	
Isotan	1	2	3	1	1	1	Gris-blanco	
Monel	1	2	3	1	1	2	Gris-blanco	
VM-níquel	1	3	4	1	1	2	Gris-blanco	
KM 4	1	2	1	2	2	1	Blanco	
Cu-Be	5	2	1	3	3	1	Rojo	

Valoración: 1= muy bueno; 2= bueno; 3= medio; 4= moderado; 5=pobre

Latón 85

Su utilización es cada vez menor debido al peligro de corrosión.

Bronce de estaño

Se utiliza como material para varillas para monturas baratas. La desventaja de una poca resistencia a la corrosión y un total ablandamiento de la soldadura, se aceptan a favor de unas propiedades elásticas muy buenas.

Bronce 48

Se desarrolló a partir del bronce de estaño. También tiene buenas propiedades elásticas, pero tienen gracias a una pequeña cantidad de níquel y un cierto contenido de zinc, una mayor resistencia a la corrosión. Característico es el elevado aumento de la dureza después del moldeo. El bron-

Tabla III.

Material	Utilización
Latón 85	Tornillería, embellecedores, articulaciones
Bronce de Estaño	Varillas, soportes de plaqueta
Bronce 48	Varillas, soportes de plaqueta
Plata nueva (alpaca)	Frentes, tornillería, clavijas, articulaciones
Plata nueva (níquel)	Aros, piezas de adorno, articulaciones, puentes nasales
Blanca-Z	Varillas, puentes, aros, soportes de plaqueta
Platinina, isotano	Varillas, puentes, soportes de plaqueta, aros
Monel	Varillas, puentes, talones, piezas frontales, aros
VM-Níquel	Aros
KM 4	Varillas, puentes, talones
Cu-Be	Para pequeñas piezas que han de soportar mucha carga

Nota: la procedencia de todas las tablas es de Dr. Ing Krug. Fern. Wagner GmbH. Pforzheim.

ce 48 no es ninguna aleación DIN, sino un material especialmente para la industria óptica.

Plata nueva

A partir de las aleaciones de plata nueva, se pueden fabricar casi todas las piezas de una gafa. Debido a una moderada resistencia a la corrosión, la plata nueva se utiliza hoy en día para monturas económicas. Característico de la plata nueva, es que los valores de dureza aumentan notablemente con el contenido en Ni (de 12 % pasando por 18 % hasta un 23 % en el blanca-Z)

Blanca Z

Es igual que el bronce 48, una aleación especial. Debido a su elevado contenido en Níquel posee una buena resistencia a la corrosión, por sus componentes de aleación Zn y Sn, también posee buenas propiedades elásticas. Varillas, puentes y soportes nasales de monturas de buena calidad se fabrican en gran número a partir de Blanca Z.

Platinina e Isotan

Son aleaciones parecidas a la plata nueva con un elevado contenido en níquel. Tienen elevados valores de dureza y una resistencia a la corrosión buena o muy buena. Esto es especialmente válido para la aleación de Ni, isotano. La desventaja de todas las aleaciones de Ni, o parte del monel, es una fabricación aparatosa y costosa.

Por desgracia también hay que tener en cuenta las alergias al Ni cuyo número va en aumento. Se ha podido observar intolerancias, incluso en el oro blanco, que también contiene níquel.

Monel

Posee un contenido en níquel elevadísimo —68 %— y por tanto, muy buena resistencia a la corrosión y elevados valores de dureza. Como además posee una buena elasticidad, se utiliza sobre todo para aros, puentes y articulaciones.

VM-níquel

Tienen de todas las aleaciones aquí mencionadas, la mayor resistencia a la corrosión. Debido a que sus propiedades elásticas y mecánicas no son muy buenas, se utiliza casi exclusivamente para los aros.

Todas las aleaciones mencionadas hasta aquí son materiales convencionales, y desde hace tiempo probados en la práctica, dando buenos resultados. En general se puede afirmar que una montura económica a menudo está fabricada con la pieza frontal de plata nueva y las varillas de bronce de Sn.

Monturas caras y de buena calidad, utilizan monel o VM-níquel para los aros, así como Blanca z o monel para varillas, talón y puente.

Tecnología para Ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado a la terminología óptica castellana por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Aleaciones no férricas y metales preciosos

Endurecimiento por conformación en frío

Los materiales presentados hasta ahora tienen un componente tecnológico común: el endurecimiento por conformación en frío que consiste en el moldeo de un material por debajo de su temperatura de recristalización.

Esta temperatura es aquella por debajo de la cual ya no hay formación de granos, como por ejemplo en el recocido de acero. En el endurecimiento por conformación en frío no se forman por tanto nuevos granos, sino que los ya existentes son estirados y tensados. La fuerte deformación de los granos evita un posterior desplazamiento de la estructura.

Si el material no puede ser moldeado a la forma deseada en un solo paso, deberá ser recocido por ablandamiento para poder seguir deformándolo.

Por endurecimiento por conformación en frío se consigue:

- mayor resistencia
- mayor dureza
- menor ductibilidad

Los materiales para gafas se suelen deformar durante el proceso de fabricación entre un 30 y un 60 %. Como muestra la figura 1, la dureza se duplica pero deformaciones mayores no representan ya ningún aumento de dureza importante y la curva de dureza se aplatando a

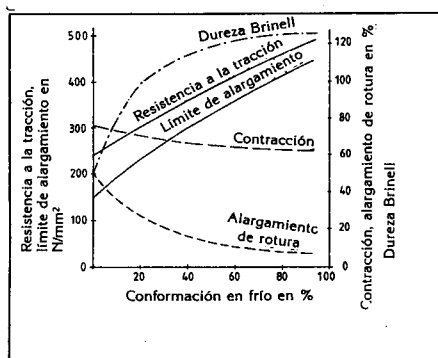


Fig. 1. Variación de los valores mecánicos del cobre por conformación en frío.

una recta. De la misma manera aumenta la resistencia a la tracción y el límite de alargamiento hasta valores aproximadamente dobles. En este caso, una deformación mayor al 60 % todavía hace aumentar notablemente la resistencia.

Para la valoración de la maleabilidad de un material sirven los valores de la contracción y el alargamiento de rotura. El valor de la contracción muestra que los materiales de cobre son extraordinariamente maleables en frío, porque sólo tiene lugar una contracción pequeña (disminución del área transversal) durante el moldeo. El alargamiento de rotura aumenta, en comparación, más, pero su importancia es menor porque los materiales para monturas no se deforman durante su fabricación hasta la rotura.

Los métodos de endurecimiento por conformación en frío en el proceso de fabricación de monturas son:

- Estirado del alambre redondo a partir de cilindros
- Trefilado del alambre redondo para obtener distintos diámetros
- Moldeo por presión (reducción por martillo, p. ej., varillas)
- Moldeo por flexión (redondeado de los aros, doblado del talón)
- Estampado (puente, varilla)
- Aplanamiento (p. ej del puente).

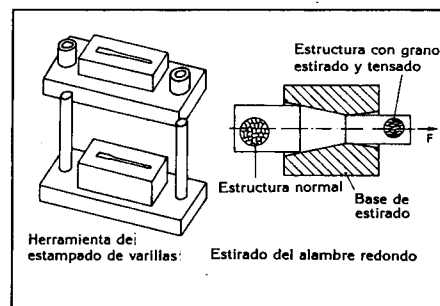


Fig. 2. Moldeo de piezas de monturas metálicas

La tendencia a monturas cada vez más ligeras, y sobre todo, a monturas montadas al aire conlleva a exigencias cada vez mayores para el material. Se han probado nuevos materiales y nuevos métodos de fabricación algunos de los cuales ya se han introducido en la práctica. Se trata de aleaciones de cobre endurecibles.

Aleaciones endurecibles

Los materiales endurecibles representan los nuevos materiales utilizados actualmente en la técnica de la fabricación de monturas.

Endurecimiento es la separación de cristales mixtos sobresaturados por tratamiento térmico dirigido

Por recocido a 800 °C y con un enfriamiento rápido se forma un cristal mixto sobresaturado. La condición para que se cumpla esto es la variación de la solubilidad de los elementos de la aleación con la temperatura. Otro tratamiento térmico de aproximadamente 300 a 400 °C disgrega el cristal sobresaturado produciéndose una alteración adicional en la estructura de la red. De esto resulta un aumento claro de la resistencia de la aleación.

La disgregación de los cristales mixtos sobresaturados es comparable con la diferente solubilidad del azúcar o la sal en agua a distintas temperaturas. En agua caliente siempre se disolverá más azúcar que en agua fría. Si se añade azúcar a agua caliente (p. ej. a 90 °C) hasta que se alcance el límite de solubilidad y reducimos a una temperatura inferior, el azúcar cristalizará. El agua fría no puede mantener el azúcar más tiempo en solución.

De forma análoga, en el endurecimiento de cristales mixtos, el componente sobresaturado cristalizará y producirá tensiones en la estructura de la red.

Este tipo de endurecimiento no tiene porque tener lugar a temperatura aumentada; por ejemplo, para el aluminio, existen bastantes aleaciones endurecibles en frío (temp. 20 °C).

En la figura 3 se muestra un modelo representativo del endurecimiento térmico.

En la práctica han dado buenos resultados hasta ahora dos materiales que ya se utilizan con gran éxito.

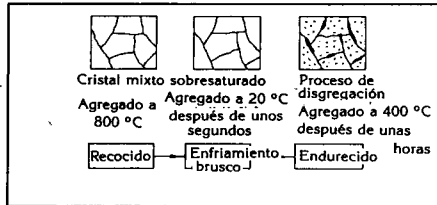


Fig. 3. Modelo de endurecimiento térmico

Cobre-Berilio Cu 98 Be 2

Se trata de cobre con un contenido de berilio del 1 al 2 %. Por desgracia este material presenta problemas en su manipulación porque el berilio venenoso ha de ser aspirado durante el soldado y el pulido y también la disolución galvánica se ha de utilizar con mucho cuidado.

La resistencia a la corrosión del Cu Be es moderada, la manipulación difícil y el coste elevado.

Aun así, cada vez se utiliza más este material porque tiene valores de la resistencia muy elevados y un comportamiento parecido al del acero de muelles.

Se utiliza para piezas pequeñas que han de soportar elevados esfuerzos mecánicos.

KM 4

La segunda aleación utilizada con la denominación KM4 (nombre de marca: Rotal, Akutan) tiene además de la ventaja de la no toxicidad y de la buena manipulación, una muy buena resistencia a la corrosión y además se deja chapar excelentemente.

Este material se utiliza para piezas sometidas a grandes esfuerzos como puentes, varillas y dobles puentes. Por tratamiento térmico, combinado con deformación, es posible variar los valores de la dureza dentro de un gran intervalo.

Como muestra el diagrama de la aleación KM4, (fig. 4) la dureza Vickers en estado blando es de 1.250. Por endurecimiento por conformación en frío aumenta para un grado de deformación de, por ejemplo, 60 % hasta 2.700. Si después del recocido y deformación del 60%, se endurece el material a 400 °C, este alcanza después de 2 horas

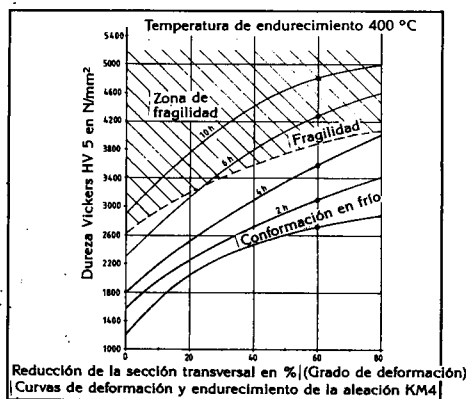


Fig. 4. Diagrama KM 4

una dureza de 3.100 N/mm², después de 6 horas alcanza 4.200 y después de 10 4.800. Hay que tener en cuenta que en la práctica sólo se pueden utilizar los tiempos de endurecimiento hasta 4 o 6 horas porque a tiempos mayores el material se vuelve frágil (zona rayada del diagrama).

El fabricante tiene además la posibilidad de alargar el tiempo de vida de los costosos útiles haciendo una cuidadosa planificación de los procesos de fabricación y obtener la dureza final por acumulación de tiempos de reposado.

Si se sueldan todas las piezas de una montura antes del reposado, se tiene la posibilidad de obtener puntos de soldadura muy duros. En el proceso de fabricación habitual, la dureza de la conformación en frío se pierde en parte debido al calor producido al soldar las piezas.

Las ventajas mencionadas de las aleaciones endurecibles hacen esperar que nuevas técnicas, mejorando las propiedades, aparezcan en el mercado.

Materiales especiales

Acero fino

En menor escala ya se utilizan aceros inoxidable, los llamados aceros finos. Los conocidos aceros 18/10 con un 18 % de cromo (Cr) y un 10 % de níquel (Ni) se utilizan en dos variantes. El acero fino es resistente a la corrosión pero no se puede chapar porque su temperatura de recocido de ablandamiento está por encima de la temperatura de fusión de las aleaciones de oro. El costoso acabado hace disminuir sus posibilidades.

Titanio

Es absolutamente resistente a la corrosión pero todavía más difícil de manipular que el acero fino. Poco se sabe sobre la soldadura de titanio (Ti) aunque ya ha sido posible el chapado en el laboratorio. Con este material para gafas teóricamente ideal se fabrican monturas desde 1983. Además se utiliza en forma de óxido de titanio como elemento decorador debido a sus numerosas variaciones de colores y estructuras.

Aluminio

El metal ligero aluminio (Al) y sus aleaciones son teóricamente también muy apropiadas: para una misma sección de perfil, una montura de Al sería un 66 % más ligera que una montura estándar de plata nueva.

Por desgracia, incluso las aleaciones de aluminio endurecidas tienen unos valores de resistencia muy bajos y además las soldaduras sólo son posibles de forma bastante engorrosa en el vacío.

Aun así existen millones de monturas de aluminio. Como gafa de sol barata pero moderna, con remaches en lugar de soldaduras, dura un verano.

Este material se utiliza de forma más seria para decorados porque se le puede dar un recubrimiento, por el método eloxal, de muchos colores y además es resistente a la corrosión.

Todavía está en experimentación el aluminizado de toda una montura.

Materiales para piezas pequeñas

Entre los materiales para charnelas, barriletes, soportes nasales y otras piezas pequeñas sigue dominando la plata nueva.

Las razones son su buena mecanización (en la fabricación con máquinas automáticas) y su buena capacidad de soldado y chapado. Su buena mecanización a veces no se obtiene hasta que se le añade plomo (Pb) (hasta un 2 %). Pero el plomo tiene la mala propiedad de intensificar el agrietamiento. Para piezas de calidad se deben utilizar preferentemente aleaciones sin plomo.

Para monturas más baratas se utiliza latón y para modelos caros CuBe₂, Blanka Z, Monel o KM4.

Metales preciosos

Los principales metales preciosos utilizados en óptica son:

- Oro
- Plata
- Metales del grupo del platino: rodio, paladio, rutenio, etc.

Oro	Símbolo químico: Au	¹⁹⁷ ₇₉ Au
-----	---------------------	---------------------------------

Propiedades físicas:

- Densidad: 19,3 g/cm³
- Puntos de fusión: 1.063 °C
- Red: Cúbica centrada en las caras

Propiedades químicas:

- Muy elevada resistencia a la corrosión y buena tolerancia al contacto con la piel (tolerancia dérmica)

Propiedades tecnológicas:

- En estado puro es muy blando y extremadamente dúctil.

Descripción:

El oro puro es demasiado blando para la fabricación de monturas. Se utiliza siempre en aleaciones con plata (Ag) y cobre (Cu); para obtener una determinada tonalidad o grado de dureza se añade además níquel (Ni), paladio (Pd), cadmio (Cd) o zinc (Zn) en pequeñas cantidades.

Los elementos de aleación ayudan a obtener una resistencia y dureza como cinco veces mayor a la del oro puro, y además determinan el color del oro. El oro puro tiene un color amarillo dorado brillante.

Elevado contenido de Cu y poco Ag dan un color oro-rojo.

Elevado contenido en Ag y poco Cu dan un color oro-amarillo.

Ag y Cu, así como contenido en Zn y Ni dan color oro-blanco

Obtención

El oro se encuentra sólo en estado puro porque no se combina solo con otros elementos. Los yacimientos más importantes están en Sudáfrica, URSS, USA, Canadá y México. Sudáfrica suministra aproximadamente la mitad de la producción mundial y la URSS un tercio.

A partir de enormes cantidades de rocas auríferas, obtenidas por explosión subterránea, se obtiene el metal precioso por lavado o por métodos químicos. Para obtener una onza de oro (31,1 g) se han de mover bastantes toneladas de roca.

Plata

Símbolo químico: Ag.; densidad: 10.5 g/cm³; punto de fusión a 961 °C. Es un elemento de aleación imprescindible del oro. Además es un componente esencial de la soldadura de plata.

Metales de platino

Son metales preciosos muy escasos y de alta calidad. Pertenecen a este grupo el platino, rodio, paladio, rutenio, indio y osmio. Su elevada dureza, resistencia química y una inmejorable tolerancia de la piel los hace ideales para la galvanotécnica. Forman capas de colores muy bonitos y al mismo tiempo también resistentes. Como base se utiliza siempre un chapado de oro.

Aleaciones de oro

Se clasifican en:

- Oro masivo»
- Oro doublé (placado)
- Dorado galvánico (chapado)

Oro «masivo»

Las gafas de oro auténticas se elaboran especialmente con calidades comparables a las joyas de oro y a precios parecidos.

Según la Ley de Finura de 1888 sólo pueden llevar sello las piezas de oro auténticas, cuyo número, p. ej. 333 o 585 o 750, indica el contenido de oro puro en 1/1.000 partes.

Ejemplo: Una gafa pesa 26 g. y lleva el sello 585. ¿Cuántos gramos de oro contiene? 1.000 g de aleación contienen: 585 g de oro puro y 415 g de plata, cobre, etc..

Por tanto, en 26 gramos de aleación habrá $26 \cdot \frac{585}{1.000} = 15,21$ g de oro puro.

En las gafas de oro, cada pieza (varillas, frente, puente) posee su propio sello.

Son usuales las gafas con una finura de 333, que son más duras que aquellas gafas con un sello de 585 o 750, que cualitativamente serán mejores, pero cuyas propiedades mecánicas no son tan buenas.

Es usual, aunque no es una norma, y desde 1969 también utilizado para el diamante, utilizar el quilate (K) para la indicación del contenido en oro, correspondiendo 24 K al oro puro.

Ejemplo: ¿Qué finura corresponderá a la indicación 18 K?

$$18 K = \frac{18 \cdot 1.000}{24} = 750/1.000 \text{ partes de oro}$$

Por tanto: 8 quilates = 333/1.000 partes de oro

12 quilates = 500

14 quilates = 585

18 quilates = 750

Las excelentes propiedades del oro también se pueden aprovechar mediante dos técnicas distintas, para producciones en serie: Sobre un núcleo de material no noble (aleaciones convencionales de metales no férricos) se depositan finas capas de oro,

- en forma de placa (método mecánico) («plaqué»)
- electrolíticamente por métodos galvanotécnicos (baño)

Ventajas de estos recubrimientos

- Propiedades mecánicas excelentes gracias al núcleo de aleación no férrica

— Muy buena resistencia a la corrosión debido a la capa de oro que recubre al núcleo, además de un bonito brillo.

Oro-Doublé (plaqué de oro)

El plaqué de oro es un metal de unión (bimetal). El oro para el recubrimiento y material del núcleo se unen íntimamente por soldadura por presión. Este método se utiliza industrialmente desde hace aproximadamente 100 años y más o menos desde hace el mismo tiempo para la fabricación de monturas de gafas.

Obtención del plaqué

Aleaciones de oro con el contenido de oro y el color deseado se funden, se transforman en chapas y se cortan en una especie de cilindros planos con un diámetro de 120 mm. También se hacen este tipo de medallas con soldadura de plata y níquel puro; a continuación se limpian de cualquier capa de grasa u óxido. Ahora se amontonan en un determinado orden; empezando por arriba: aleación de oro, soldadura de plata, níquel puro, soldadura de plata. Muchas de estas placas se apilan una encima de la otra, utilizando una lámina de acero para la separación entre las placas.

En un horno se calientan ahora estas placas a 830 °C y se suletan en una prensa bajo una elevada presión. Las cuatro capas que formaban la placa están ahora íntimamente unidas; sólo será posible separar las placas en las láminas de acero que las separan formando así unos cilindros más gruesos según el número de placas que lo formen.

A partir de estos nuevos cilindros es posible obtener, por medio de un proceso escalonado de estirado, un tubo de oro. Entre cada proceso de estirado es necesario un recocido para poder seguir moldeando el tubo conformado en frío. Como producto final se obtiene un tubo de diámetro interior de aproximadamente 44 mm. Los tubos de oro se cortan a una longitud aproximada de 500 mm y pueden ahora envolver un núcleo no noble, como por ejemplo, un tubo de plata nueva. Este recubrimiento tiene lugar en una prensa hidráulica, debiendo estar las superficies de ambos tubos perfectamente limpias. Una gran ayuda para la soldadura del recubrimiento es un grueso tubo de acero sin

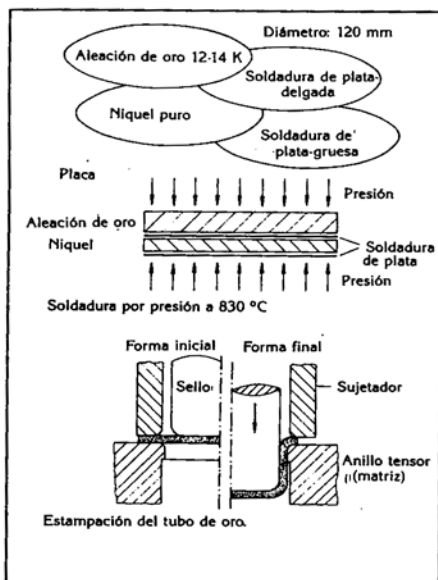


Fig. 5. Obtención del oro-doublé

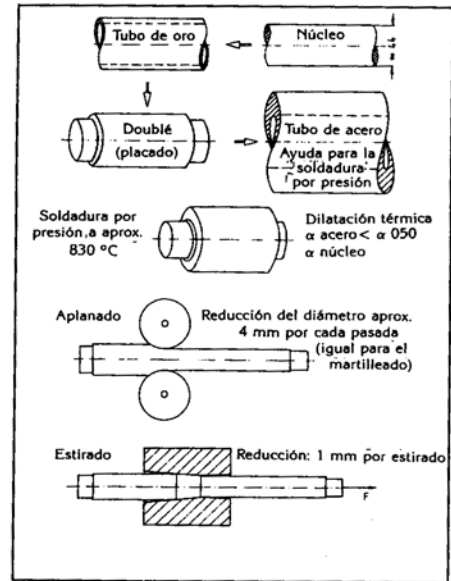


Fig. 6. Obtención del oro-doublé (placado)

soldadura, dentro del cual se colocan los otros dos tubos y se calientan todos juntos en un segundo proceso de soldadura por presión también a 830 °C. El tubo de acero, debido a su menor dilatación térmica que los otros dos metales, presionará durante el calentamiento sobre los dos tubos de su interior comprimiendo al tubo plaqueado. Esta unión, al igual que la primera soldadura, por presión, es completamente inseparable. El tubo de acero se retira una vez terminado todo el proceso.

El resultado es un alambre redondo de aproximadamente 44 mm de diámetro que a continuación se aplanará al diámetro usual de 1 o 2 mm. El antiguo método de aplanamiento por estirado es sustituido cada vez más por el moderno proceso de martilleo mediante el cual las variaciones de espesor son menores. Durante el aplanamiento por martilleo es posible una disminución de aproximadamente 4 mm por cada paso, alcanzándose una variación del diámetro de aproximadamente 1 mm con el estirado posterior.

La elección del procedimiento depende de la forma del perfil. Los perfiles complicados con ángulos de moldeo han de ser estirados siendo necesario en todas las deformaciones el recocido, debido a la conformación en frío, (unas 10-15 veces a una temperatura de 600 a 780 °C).

Ventajas del placado de oro

Debido a que el recubrimiento está compuesto principalmente por cristales mixtos de la aleación de oro, que tienen una dureza natural, éste tiene una buena resistencia frente al desgaste, está libre de fisuras y de poros y está unido íntimamente con la base aunque su espesor sea muy pequeño.

Ejemplo numérico: El espesor del recubrimiento del alambre de oro placado más utilizado es de 2 mm de diámetro con un contenido de 20/1.000 de oro de 14 quilates, es decir, de oro de 585/1.000.

Pero se ha de considerar que las secciones transversales de una gafa de distinto espesor también tendrán recubrimientos de distinto espesor. La capa de níquel puro debajo de la capa de oro sirven para que los distintos componentes de la aleación de la capa de oro y del material del núcleo no difundan durante los procesos de recocido,

es decir, que no varíe ni el color ni la calidad de la capa. Si el óptico cometiera el fallo de eliminar la capa de oro por pulido de la gafa, la capa de níquel protegerá durante largo tiempo al material del núcleo.

Las desventajas del recubrimiento de oro plácado son que algunas características del diseño de una gafa estarán

condicionadas porque algunas formas de monturas no son (o muy difícilmente) realizables. La desventaja del elevado coste del oro plácado se compensa por la calidad del material y además, un recubrimiento de oro galvánico del mismo espesor que la placa de oro es al menos igual de costoso.

Oro doblé y recubrimientos galvánicos

Indicación de la calidad del plácado

1. Designación alemana

La designación alemana de la calidad del plácado (doblé) da el contenido en gramos de oro por 1.000 gramos de material de la montura. El contenido más utilizado hoy en día es de 20/000=20 milésimas=20‰, lo que significa: 1.000 g. de material plácado 20/000 contienen:

20 g. de oro puro
980 g. de cobre, plata, níquel, etc. en el total del material del núcleo y de la placa de oro.

Los tornillos, plaquetas, terminales, etc. no están incluidos en el peso total. La indicación 20/000 no debe ser sellada para evitar confusión con las gafas de oro «masivas».

2. Designación inglesa

Para poder tener una designación con la que poder sellar una montura, se adoptó en los países de habla inglesa y en Extremo Oriente la designación usual comentada en el capítulo anterior.

Ejemplo:

1/10 12 K=1/10 del peso total de la montura está compuesto por oro de 12 K (quilates)

La ventaja de esta nomenclatura es que se da directamente el contenido en oro de la montura y su calidad pero no es posible conocer la composición de la placa de oro.

Para la conversión de la designación alemana a la inglesa sirve el siguiente cálculo:

Como el oro de la montura está exclusivamente en la placa del recubrimiento de oro chapado, corresponderán, para 1.000 g de montura, 1/10 o 100 g de chapado de oro de 12 K.

Peso del oro puro=peso de la placa de oro x calidad del oro.

Peso del oro=100 · 12/24=50 g. por cada 1.000 gramos de montura.

La indicación 1/10 12 K corresponde por tanto a la designación alemana 50/000. Calculando de la misma forma otras calidades de plácado obtenemos los resultados que se muestran en la tabla I.

Puede llevar a confusión que para indicaciones de por ejemplo 1/20 12 K también se utilizan aleaciones de 14 K, pero, en estos casos, el contenido en oro se mantiene

Tabla I.

Indicación inglesa	Indicación alemana
1/100 12 K	5/000
1/ 50 12 K	10/000
1/ 25 12 K	20/000
1/ 20 12 K	25/000
1/ 12 12 K	40/000
1/ 10 12 K	50/000
1/ 8 12 K	60/000
1/ 5 12 K	100/000

el mismo, variando el espesor de la placa de oro, siendo menor para oro 14 K que para una aleación de 12 K.

Ejemplos para el cálculo de la calidad de un plácado

Ejemplo 1. ¿Cuál será la indicación alemana correspondiente a la inglesa 1/40 14 K?

1/40 del peso total de la montura está compuesto por oro de 14 K.

En 1.000 g., 1/40 del contenido es oro, es decir:

1.000 · 1/40=25 g de oro de 14 K.

El contenido en oro puro será: 25 · 14/24=14.6/000 g que redondeando serán 15/000 que corresponde a la designación alemana.

Ejemplo 2. La calidad de una montura de oro plácado es de 33 g/kg. La capa de oro es de 12 K. ¿Cuál será la designación inglesa?

1.000 g de montura contienen 33 g de oro de 12 K

33/1.000=1/30 del peso de la montura es oro de 12 K

Por tanto, la designación inglesa será: 1/30 12 K

Ejemplo 3. Una montura de oro plácado de calidad 40/000 pesa 25 g. ¿Cuántos gramos de oro puro contiene?

$$\frac{40 \text{ g de oro}}{1.000 \text{ g de montura}} \cdot 25 \text{ g de montura} = 1 \text{ g de oro}$$

La montura contiene 1 gramo de oro puro.

Ejemplo 4. Una montura plácada que pesa 32 g, está sellada con la indicación 1/8 14 K. ¿Cuántos gramos de oro puro contiene?

1/8 de la montura está compuesto por oro de 14 K. Por tanto, de 32 g de montura, 32 · 1/8=4 g serán de oro de 14 K

Oro puro: 4 g · 14/24=2.33 g de oro puro.

Características de la placa de oro

— Ha de aumentar la protección frente a la corrosión de la montura.

— Ha de mejorar el aspecto de la montura.

El espesor de la placa depende:

— Del contenido de oro, por ejemplo 20/000 tiene un espesor menor y la montura es de peor calidad que 60/000 para un mismo valor de quilates.

— De la aleación de la capa de oro, es decir, 12 K es más gruesa que 14 K para una misma indicación alemana.

— Del espesor y de la forma de la sección del núcleo. Como regla sirve: La mitad del valor de la indicación alemana e indicada en mm, da el espesor aproximado de la capa de oro.

Ejemplo: 50/000 significa aproximadamente 25/1.000 mm=0.025 mm de espesor.

Además hay muchas empresas que sellan un símbolo o una indicación especial, cuyo significado tendrá que mi-

rar el óptico en el catálogo de la misma. Se utilizan, por ejemplo las siguientes combinaciones de letras:

WD=Placado con rodio
RD=Placado con rutenio

Colores del placado de oro

Según la elección y composición de los elementos de aleación se pueden obtener todos los colores del oro usuales.

Se utiliza mucho el color de placado rosado (plaqué rosé) con un brillo rojizo dentro de la típica tonalidad dorada; esto se consigue mediante un contenido elevado de cobre.

Se obtiene un tono blanco dorado muy bonito por adición de rodio al placado rosado. Para ello, se recubre galvánicamente una montura placada con una finísima capa ($0,5 \mu\text{m}$) de rodio.

Con un recubrimiento similar, pero de rutenio, se obtiene un tono parecido al del acero fino, de brillo mate.

Manipulación de las monturas de oro placado

Las monturas de oro placado son generalmente fáciles de moldear y adaptar. Si es posible, se debería moldear a mano, y si no se puede evitar, se deben utilizar sólo tenazas acolchadas. El placado sólo se debe pulir, con mucho cuidado, en una pulidora de lana.

Sólo el placado rosado se deja soldar bien, mientras que las monturas rodiadas o ruteniadas se decoloran fácilmente.

Es importante un buen recubrimiento del punto de soldadura. Si se quema el cobre de la capa de oro, la superficie se ennegrecerá y el oro no tardará en desprenderse. El placado sólo se debería calentar corto tiempo y nunca en una zona grande.

El núcleo no noble de una montura se puede proteger y darle un aspecto decorativo, no sólo por un placado de oro, sino que también por distintos métodos de recubrimiento. Las posibilidades más importantes se resumen a continuación.

Ennoblecimiento de superficies

Un proceso de recubrimiento es, según la Norma DIN 8580, la deposición de una capa de material amorfo sobre la superficie de una pieza de manera que quede fuertemente adherida a ella.

Con este recubrimiento se quiere conseguir:

- Protección del material base frente a la corrosión
- Aumento de la resistencia al desgaste y dureza
- Mejorar el aspecto de la pieza, función decorativa.

Generalmente se clasifican los recubrimientos según su estado de deposición:

- Estado gaseoso
- Estado líquido-pastoso
- Estado ionizado (método electrolítico o químico)
- Estado sólido o polvo.

Recubrimiento a partir de un estado gaseoso - Por evaporación

En este proceso de recubrimiento se evaporan en el vacío, metales como oro, plata, titanio, zinc, aluminio, así como silicio o aleaciones como fluoruro de magnesio. Para ello se suele utilizar un arco voltaico o también un haz de electrones. El metal evaporado se condensa sobre la superficie fría de la pieza y precipita en forma de una fuerte y densa capa. En la industria óptica se recubre por este método lentes y espejos, consiguiéndose, según el mate-

rial utilizado y el espesor de la capa, propiedades de absorción o reflexión.

El recubrimiento por evaporación de determinados óxidos metálicos también tiene gran importancia en la fabricación de conexiones integradas (Chips).

En la fabricación con eliminación de virutas, se obtienen tiempos de paro considerablemente mayores si se utilizan herramientas de corte con recubrimiento.

Recubrimiento a partir de un estado líquido - Barnizado

En el proceso de recubrimiento por barnizado en mojado de monturas de gafas se depositan capas protectoras relativamente gruesas; como media, el espesor de la capa es de $80-100 \mu\text{m}$. Generalmente no son muy favorables los espesores de capa gruesos porque tienen una elasticidad pequeña pero no se puede reducir la capa del barnizado porque, sobre todo, los colores claros y el color blanco han de ser depositados en capas gruesas para asegurar una suficiente opacidad. Los colores oscuros se pueden aplicar en capas más finas.

Un problema especial en el barnizado de monturas la representa el barnizado de la cabeza del tornillo ya que la capa de barniz salta fácilmente al utilizar el destornillador, lo que influye en el aspecto de la montura. Por otra parte, los tornillos pueden quedar pegados por el barniz u otros recubrimientos líquidos.

Recubrimientos a partir de un estado ionizado - Galvanizado

Por separación electrolítica se pueden obtener recubrimientos galvánicos con metales como cobre, níquel, cromo, zinc, estaño, aluminio y todos los metales preciosos.

Principio del galvanizado

En el proceso de recubrimiento por galvanizado, el metal para el recubrimiento precipita, gracias a una corriente eléctrica continua, de una disolución acuosa, ácida o básica.

En principio se trata del procedimiento inverso a la corrosión electroquímica. El proceso químico se denomina electrólisis, el recipiente en que tiene lugar el proceso, célula de electrólisis y la disolución, electrólito. Para la descarga de los iones contenidos en el electrólito se necesita energía. Generalmente la pieza a recubrir hace de cátodo y la placa del material de recubrimiento hace de ánodo siendo una excepción en el caso del recubrimiento de cromo.

Durante el proceso de la electrólisis se disuelve el ánodo en la misma medida en que los átomos precipitan sobre el objeto a recubrir. El electrólito contiene, fundamentalmente sales del metal que ha de precipitar. En el proceso de recubrimiento con cobre (encobrado) por ejemplo, el componente principal del electrólito es el sulfato de cobre (II).

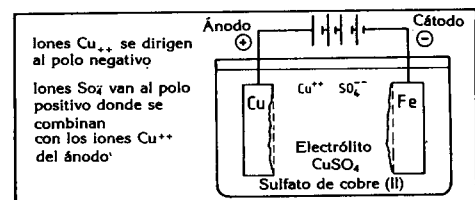


Fig. 1. Principio del proceso de galvanizado (recubrimiento de cobre)

En la electrólisis tienen lugar dos procesos simultáneamente:

- Los iones del electrólito, cargados negativamente, se dirigen al ánodo: tiene lugar una oxidación.
- El cátodo absorbe los electrones de los cationes de la disolución, cargados positivamente: tiene lugar una reducción.

Tensión y corriente en el baño galvánico

La tensión aplicada en los electrodos no solamente ha de superar la resistencia óhmica de la solución, sino que también ha de superar la tensión de polarización, esto es, la variación de potencial en el cátodo y el ánodo debido a los procesos químicos que tienen lugar en el baño galvánico. Si se utiliza por ejemplo una solución ácida de azufre, para una baja tensión, la corriente rápidamente descenderá a cero porque en el ánodo se forma oxígeno mientras en el cátodo se deposita hidrógeno. El elemento resultante hidrógeno-oxígeno tiene un efecto de oposición a la tensión aplicada. Una tensión mayor hará que los gases acumulados se escapen visiblemente y que la electrólisis sea eficaz. Las tensiones aplicadas en los baños galvánicos son de 3 a 5 voltios.

La intensidad de corriente es, en la galvanotecnia, de menor interés; siendo decisiva la densidad de corriente definida como la intensidad de corriente por dm^2 de superficies del objeto a recubrir. Con una densidad de corriente elevada se obtendrá rápidamente un recubrimiento de gran espesor pero que tendrá una estructura poco consistente y esponjosa, mientras que, una densidad de corriente baja es cualitativamente mejor, pero el crecimiento de la capa será lento y no muy económico.

Galvanizado industrial

El proceso de galvanizado industrial se realiza en varias etapas y mediante varios baños; generalmente se habla de recubrimiento tipo «sandwich». Los tipos de tratamiento y los tiempos de electrólisis se pueden variar ampliamente y adaptarlos así óptimamente a los distintos tipos de galvanizado.

Los pasos esenciales son:

Limpieza profunda de la superficie de la pieza a recubrir con la ayuda de disolventes de grasas como gasolina, tricloroetano o tetraclorometano, baños de álcali y desengrase por ultrasonido.

Aclarar, neutralizar y secar.

Galvanizar en distintos baños en los que, si se trata de un baño galvánico de calidad, se controla y regula constantemente su composición, concentración y temperatura del electrólito, a la vez que se controla evidentemente, la corriente y la tensión así como los tiempos exactos. Hoy

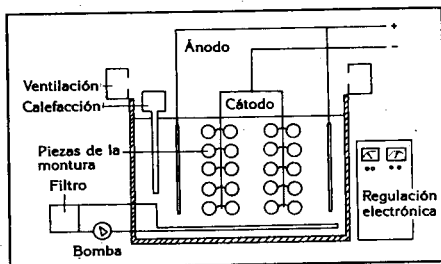


Fig. 2. Baño galvánico industrial

en día, las instalaciones industriales de galvanizado funcionan por el sistema de cambio programado de las fases de forma totalmente automática.

Limpieza, secado y control de las piezas de la montura terminadas.

Ventajas del galvanizado

- Distribución muy regular de la capa
- La estructura de este recubrimiento permite la aplicación de una capa dura de protección sobre el mismo.
- Recubrimiento de los bordes y las esquinas de la montura.
- Se puede aplicar sobre cualquier diseño de montura sin necesidad de tener en cuenta el proceso de fabricación.

Desventajas del galvanizado

- Espesores de recubrimiento muy pequeños (aprox. $3.5 \mu\text{m}$)
- Las deterioraciones de la capa pasan rápidamente al material base.

Monturas con recubrimiento galvánico

Para distinguirlas de las monturas de oro plácado, llamaremos a las monturas con recubrimiento galvánico: monturas chapadas o monturas galvanizadas.

El material del núcleo de la montura es el mismo que el utilizado en las monturas de oro plácado. En general, todos los materiales de monturas mencionados anteriormente se pueden recubrir galvánicamente.

La diferencia principal en comparación con el plácado está en que una montura galvanizada se puede acabar y montar, con excepción de las piezas de plástico. La aplicación del recubrimiento galvánico (chapado) es una de las últimas fases del proceso de fabricación.

Los recubrimientos aplicados según este método son especialmente:

- Recubrimiento de oro
- Recubrimientos de platino, rodio, rutenio y paladio
- Recubrimientos de cromo (cromo blanco y cromo negro)
- Recubrimientos de aluminio sobre aluminio (método eloxal)
- Capas interiores de níquel y cobre.

Las monturas galvanizadas no deben llevar sello de calidad de oro, siendo usuales señalizaciones específicas del fabricante.

Proceso de fabricación de una montura chapada en oro

A) Obtención de las capas inferiores del recubrimiento

1. Limpieza del núcleo de material no-noble con álcalis u otros baños que disuelvan las grasas. También se utiliza el desengrase por ultrasonido pero precisa de una costosa instalación.

2. Desengrase con un electrólito que contenga Cyamid.

3. Inmersión en ácido sulfúrico al 10 % para evitar una nueva formación de película de óxidos.

4. Precobrado (primera capa de cobre) con un baño de cobre con contenido en Cyamid. Esta capa de aproximadamente $3/1.000 \text{ mm}$ constituye una muy buena primera capa base para las siguientes capas.

5. Cobreado con el electrólito H_2SO_4 y CuSO_4 . El ácido sulfúrico aumenta la capacidad de conducción del baño.

El espesor de la capa de cobre es de 10/1.000 mm y es muy brillante.

Estas fases del proceso son válidas para otros recubrimientos galvánicos. De esta manera u otra similar constituirá la base de cualquier chapado.

B) Obtención de la capa de oro

6. Predorado con oro puro (24 K)

7. Dorado con un espesor de capa de aproximadamente 4-5/1.000 mm.

8. Aplicación, quizás, de otra capa muy fina de rodio, rutenio o paladio.

La capa de «oro» de 4-5 μm está formada para el tono usual «rosé» de los tres elementos cobre, cadmio y oro.

La aplicación de las capas metálicas de platino de un espesor aproximado de 0.3 μm se hace por dos motivos: Primero porque todavía no es posible obtener electrolíticamente un color oro-blanco bonito en una calidad aceptable; el rodio o el rutenio dan este efecto con un espesor de capa pequeño. Segundo porque la dureza de este metal da una excelente protección frente al desgaste.

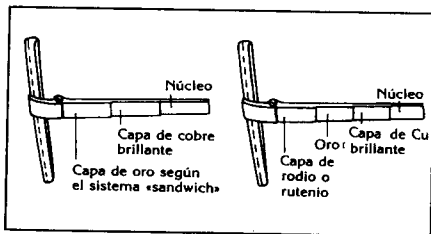


Fig. 3. Chapado en oro Rodiado

Comparación entre placado de oro (doublé) y chapado en oro

En el placado de oro se puede obtener cualquier tonalidad deseada y cualquier calidad posible utilizando en el fundido de los medallones planos la aleación correspondiente. En el chapado en oro galvánico sólo se pueden combinar, hasta ahora, como máximo tres elementos. En cuanto a la obtención de colores es mejor pues el placado en oro.

En el diseño de monturas, en cambio, es mejor el chapado galvánico porque con este método se puede ennoblecir toda la montura. En el diseño de una montura de placado de oro se han de considerar las posibilidades de realización de los procesos de prensado, estampado y estirado. Sobre todo los bordes cortados y las esquinas también tienen de estar recubiertos de una capa de oro protectora.

El espesor del recubrimiento tipo «sandwich» de un chapado en oro es siempre más delgado que un placado de oro. El chapado se puede aplicar muy homogéneamente pero también en el placado se han hecho progresos significativos en la regulación del espesor de la capa, por el proceso de martilleado. Pero para ambos procesos de fabricación es válido que la calidad real de una montura depende, no sólo del material utilizado, sino que también depende decisivamente de su manipulación y del correcto conocimiento de los procesos de fabricación. La experiencia de muchos años en un determinado proceso de acabado no se puede sustituir por ningún material por caro que este sea.

Proceso de fabricación de una montura cromada

El cromo es un metal muy duro y a la vez altamente resistente a la corrosión ya que se recubre por una fina capa

protectora, siendo esta una propiedad que tiene este material por naturaleza. También se utilizan, fuera de la industria óptica, los métodos del cromado brillante y del cromado duro para muchos productos desde hace mucho tiempo.

Un recubrimiento de cromo cualitativamente perfecto es una sucesión de:

- Cobre
- Níquel
- Cromo

La obtención de las capas inferiores tiene lugar por el proceso explicado anteriormente.

Para cromados de adorno con una buena protección la corrosión hay suficiente con un espesor máximo de capa de 1 μm . Pero también es importante la relación entre los espesores de las capas de cobre, níquel y cromo. Un aumento del espesor, sólo de la capa de cromo no significa mayor protección a la corrosión, al contrario, el peligro que la capa se desprenda es mayor.

El precipitado electrolítico del metal tiene lugar exclusivamente en una disolución concentrada, acuosa de ácido crómico, que además hace de electrolito. La concentración exacta del baño requiere por tanto mucho cuidado. En el cromado, el ánodo es de plomo, que se gasta muy poco durante el galvanizado.

El cromado negro requiere una base de níquel mate, obteniéndose el color negro por el precipitado simultáneo de cromo y óxido de cromo. La capa de cromado negro más blanda ha de tener un espesor de al menos 3 o 4 μm .

El cromado duro es una técnica que permite la aplicación directa de la capa de cromo sobre la superficie de acero. Sobre todo, los aparatos de medición, plantillas, cilindros y émbolos se protegen óptimamente por cromado duro, sin exponerlos al peligro de deformación por endurecimiento térmico.

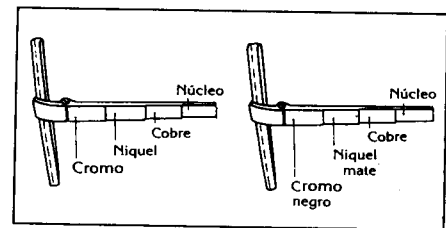


Fig. 4. Cromado brillante Cromado negro

Monturas metálicas con recubrimiento plásticos

El recubrimiento electrostático a partir de polvo, con un posterior coloreado por inmersión es un proceso de fabricación de monturas relativamente nuevo, pero que en otros campos de la industria ya está probado hace años. Por ejemplo el interior de los lavavajillas, que está sometidos a elevados desgaste mecánicos y químicos, se recubre hac ya tiempo de esta manera.

Se trata de la deposición en un campo eléctrico de un barniz en forma de polvo, con lo que se puede obtener hasta el endurecimiento un espesor de capa muy regular. El polvo de materia plástica que queda adherida, se funde en un horno de infrarrojos, obteniendo una capa de barniz completamente envolvente, ahornándose sobre el material base.

El polvo de materia plástica se aplica por presión de aire, cargándose eléctricamente al abandonar el pulverizado. La fuerza de los campos electrostáticos desvían las partículas de polvo cargadas, generalmente negativamente, hacia la montura, que está cargada positivamente.

Como las partículas de igual carga se repelen, las nieblas de polvo se distribuyen durante el vuelo y dan capa

muy regulares sobre la gafa. Como además muchas partículas de polvo siguen la trayectoria curvada de las líneas de campo, también se forma un precipitado en la cara posterior de la montura. Las fuerzas eléctricas de las partículas son tan fuertes que se quedan adheridas incluso en la superficie fría del material. Como polvo se utilizan duroplásticos de grano fino como por ejemplo polvo de epóxido, de poliéster o de resinas acrílicas con granos de 40 a 60 μ ; con esto se pueden conseguir espesores de capa de 50 a 200 μ m de una sola vez. La fusión y el ahornado se realiza a temperaturas entre 180 y 200 °C y dura aproximadamente de 10 a 15 min.

La montura así recubierta se suele sumergir a continuación en un baño de color. Las posibilidades de variación del tiempo de inmersión, intensidad del color y profundidad de inmersión permiten obtener casi cualquier color deseado.

Ventajas de este procedimiento:

- Buena calidad mediante un proceso sencillo.
- Elevada resistencia mecánica del recubrimiento plástico.
- Muy buena resistencia a la corrosión.
- Fácil recuperación y reutilización del polvo no utilizado.

Como desventaja se ha de mencionar la intolerancia de este material a la piel de algunas personas. El recubrimiento plástico puede ser atacado y destrozado totalmente aún cuando el espesor sea grande.

Fases en la fabricación de una montura con recubrimiento plástico

1. Fabricación de la montura de un material base noble.
2. Limpieza, desengrase y galvanizado según los métodos ya descritos.
3. Otra limpieza y secado sin manchas.
4. Aplicación del polvo plástico.
5. Ahornado del polvo del duroplasto en el horno de infrarrojo
6. Coloreado por inmersión.

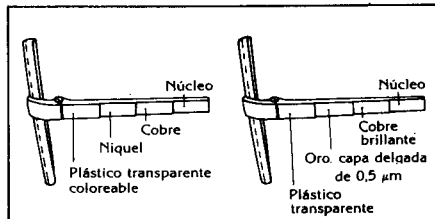


Fig. 5. Montura metálica con recubrimiento plástico
Recubrimiento de oro coloreado

Materiales inorgánicos

Galvanizado del aluminio (método del anodizado)

El aluminio y sus aleaciones se recubren por el método eloxal (aluminio eléctricamente oxidado). Al contrario que en los métodos descritos hasta ahora, se trata de una oxidación anódica, porque aquí la pieza de aluminio hace de ánodo, siendo el cátodo de plomo y el electrolito, según

el procedimiento, ácido crómico, sulfúrico u oxálico.

El método más utilizado es con ácido sulfúrico y utilizando corriente continua como fuente de energía. En el ánodo se forman átomos de oxígeno que se combinan con el aluminio, formando una capa adherida muy densa y extraordinariamente fuerte. La capa de eloxal está compuesta químicamente de Al_2O_3 y crece hacia adentro del metal, con lo que la capa natural de óxido se va elevando poco a poco. Esta queda pues siempre como capa exterior del objeto, constituyendo aprox. 1/3 del espesor de capa total. La capa de eloxal es porosa y se colorea normalmente en un baño de inmersión. Existen para esto un gran número de colores y tonalidades: desde un oro-rojizo, pasando por el color de plata nueva, hasta latón, cobre y bronce oscuro.

El paso decisivo para conseguir una buena protección a la corrosión tiene lugar después del coloreado. En el caso más sencillo se refuerza en un baño de agua caliente. Más eficaz es el tratamiento en un baño de lacre, que contiene acetato de cobalto y acetato de níquel; los óxidos metálicos se hinchan y hasta llenan las grietas capilares más pequeñas. Las aberturas de los poros de la superficie se densifican formando una capa protectora muy compacta.

Fuera de la industria óptica se protegen por este método (anodizado) piezas de construcción como ventanas, puertas, piezas de fachadas, y también productos semiacabados y chapas.

Es destacable además, que las piezas así tratadas se pueden seguir trabajando por flexión, presión o corte sin que se dañen.

En la fabricación de monturas, las varillas y embellecedores de aluminio se ennoblecen siempre electrofóticamente. También se han hecho intentos de aluminizar toda la montura para tener asegurada la resistencia a la corrosión pero parece ser que estos experimentos han quedado parados.

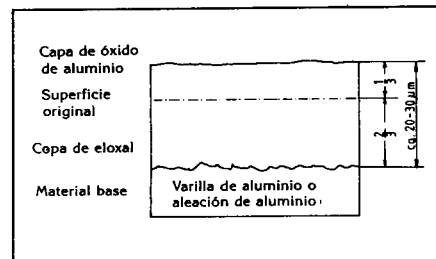


Fig. 6. Aluminio anodizado

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó, de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

Materiales sintéticos (plásticos)

Estructura y clasificación

Los plásticos son materiales compuestos sintéticamente, es decir, de forma artificial, por macromoléculas orgánicas.

Inicialmente se desarrollaron para sustituir a materiales naturales transformados. Pero hoy en día están tan desarrollados que han ocupado el lugar de muchos materiales naturales e incluso de metales. Esto se debe principalmente a la fácil manipulación de estos plásticos, que se pueden adaptar óptimamente a numerosas aplicaciones. Hoy en día existen gran cantidad de estos materiales sintéticos. Aún así es posible dar algunas propiedades comunes, que los diferencian de los metales y de los materiales naturales:

—Baja densidad

Tipico: $p=0,9-2,0 \text{ g/cm}^3$

Ventaja: monturas y cristales ligeros y cómodos

—Conductividad eléctrica: no conductores.

Utilización como material aislante, por ejemplo para enchufes, cables interruptores, mangos para destornilladores.

—Conductividad térmica: baja en la construcción como aislante térmico, en vidrios orgánicos: poca tendencia a empañarse.

—Resistente a la corrosión, y a muchas bases y ácidos. Utilización para capas de monturas de material plástico transparente.

—Impermeable al agua y a gases; superficie lisa y compacta. La superficie de la montura o del vidrio orgánico no necesitará ser retocada. Fácil pulido, posibilidad de coloración superficial o también de la masa.

—Seguridad en caso de accidentes, el «vidrio» orgánico no se astilla.

—Producción rápida y sencilla en grandes cantidades. Monturas económicas que pueden adaptarse rápidamente a la moda.

Pero los plásticos también tienen unas típicas desventajas:

—Poca resistencia a la temperatura

La temperatura que resisten la mayoría de los plásticos durante un periodo de tiempo mayor es de sólo 100-150 °C; máximo hasta 350 °C.

—Elevada dilatación térmica.

La dilatación de la mayoría de plásticos es 3 a 5 veces mayor que la de los metales; y como máximo, 20 veces mayor. Esto conlleva problemas cuando se utilizan conjuntamente con metales o con vidrio. Por ejemplo, vidrio orgánico en monturas metálicas, o vidrio mineral en monturas orgánicas.

—No es resistente frente a disolventes orgánicos, materias grasas, sudor de la piel. Es necesario lacar muchos ma-

teriales orgánicos para evitar el contacto directo con la grasa orgánica de la piel.

—Poca dureza de la superficie; no es resistente al rayado; necesidad de poner una capa protectora en los vidrios orgánicos.

Materias primas y proceso de fabricación

Para su fabricación son derivados de compuestos naturales de moléculas grandes (como celulosa, proteínas), o los elementos carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre (S, C, H, O, N)

Los compuestos naturales derivados son, por ejemplo, el celuloide, que se obtiene de la celulosa (madera o algodón).

Los elementos de los que se componen los plásticos se obtienen en su mayoría del petróleo; de aquí que esta parte de la química se denomine a menudo «química del petróleo».

Como estas materias primas no forman enlaces químicos entre sí cuando están en estado líquido o gaseoso, se denominan monómeros.

Característica de la fabricación de los plásticos es la reacción entre los monómeros a elevada presión y a cierta temperatura para formar largas cadenas de moléculas (polímeros).

Tiene importancia aquí la capacidad del carbono de formar con otros átomos o grupos de átomos largas cadenas o anillos moleculares. Para poder controlar este proceso se utilizan a menudo catalizadores. Estos son compuestos, que pueden dirigir el proceso de una reacción, sin participar en ella y sin consumirse.

Las macromoléculas obtenidas son filiformes y pueden estar débilmente entrecruzadas, fuertemente entrecruzadas en el espacio o no estar entrecruzadas en absoluto.

Según el método utilizado para la obtención de los plásticos se diferencia entre:

—Polimerización

—Policondensación

—Poliadición

Polimerización

Por ruptura del doble enlace de una molécula es posible que los monómeros se agrupen formando largas cadenas; su composición química no se diferencia de la de las moléculas iniciales; no se obtienen subproductos.

Las moléculas así encadenadas presentan forma de ovillo no entrecruzadas; a menudo se describe como un ovillo de hilos.

Las fuerzas de enlace entre las moléculas son pequeñas, por lo que su resistencia es baja, pero su conformado es relativamente fácil.

Al grupo de los polímeros lineales pertenecen:

—Polietileno PE (Hostalen, Vestolen, Lupolen)

—Policloruro de vinilo PVC (Vestolit, Skai, Pegulan, Hostalit)

—Poliestirolo PS (Styropor, Luran, Hostyren)*

Materiales de este tipo que se utilizan para monturas de gafas son:

—Acetato, Propionato, Polimetacrilato de Metilo (PMMA), también para vidrio óptico y lentes de contacto (fig. 1).

*Los nombres entre paréntesis corresponden a marcas comerciales, sin traducción.

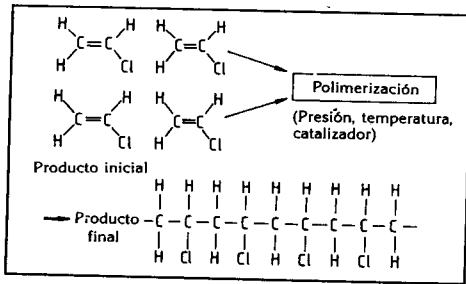


Fig. 1. Polimerización.

Policondensación

En la policondensación reaccionan como mínimo dos grupos funcionales distintos pertenecientes a las moléculas de monómero iniciales. En esta reacción se elimina agua o ácido clorhídrico.

Pertencen a este grupo las poliamidas, los policarbonatos, los aminoplastos y los fenoplastos (fig. 2).

Nombres comerciales: Perlon, Nylon, Ultramid, Vestamid, Makrolon, Lexan, Bakelita, Pertinax, Resopal.

Materiales para monturas de gafas, SPX, PC, también para vidrios.

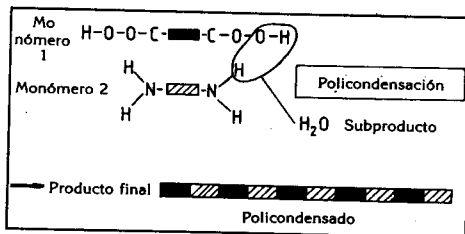


Fig. 2. Policondensación.

Poliadición

Es parecida a la policondensación, es decir, tiene lugar una reacción entre dos grupos funcionales distintos, pero sin formación de subproductos. El enlace entre las moléculas se da por el cambio de lugar de los átomos de H del monómero 1 al monómero 2.

Pertencen a este grupo las resinas de epóxido, el poliuretano y el poliéster.

Nombres comerciales: Desmodur, Moltopren, Alcadita, Epoxin, UHU-plus, Diolen, Trevira, Dacron.

Para monturas: Optyl, para vidrio: CR 39 (fig. 3).

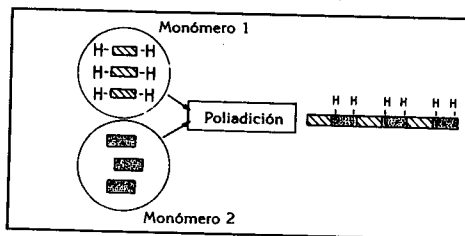


Fig. 3. Poliadición

Termoplastos y duroplastos

Debido a que todos los plásticos pasan durante su proceso de fabricación por un estado en el que son blandos y moldeables, también se les denomina plastos.

Según su reacción frente a la temperatura se diferencian entre termoplastos y duroplastos (estas denominaciones no están relacionadas con un determinado proceso de fabricación).

Los termoplastos vuelven a su estado blando y moldeable al ser calentados. Si se calienta el termoplasto endurecido se vuelve flexible en un intervalo bastante pequeño. Su dureza disminuye mucho, y puede ser fácilmente deformado por estiramiento, compresión, flexión, etc. Este proceso se denomina deformación termoelástica. Si se vuelve a enfriar la pieza deformada, ésta vuelve a su estado sólido, y estable a la forma, sin sufrir ningún daño.

Si se calienta el plástico a temperaturas elevadas, se convierte en un líquido viscoso. En este intervalo es posible el moldeo por compresión, por inyección o también el soldado de dos piezas.

Importante: las propiedades de los termoplastos se pueden variar enormemente según el tipo y la cantidad del plastificante utilizado.

Sin este plastificante estos materiales serían generalmente demasiado quebradizos. La desventaja de estas moléculas de plastificante es su tendencia a la evaporación, así como su localización entre las moléculas encadenadas que hacen que sus fuerzas de enlace disminuyan.

Los duroplastos son plásticos que mantienen su solidez y también su forma hasta una cierta temperatura límite después de su primer endurecimiento. Son moléculas fuertemente entrecruzadas en el espacio, que no son deformables plásticamente. Al calentarlos, no pasan por un intervalo elástico o plástico, sino que se descomponen directamente. Los duroplastos mantienen su dureza y solidez casi durante todo el intervalo de temperaturas hasta su descomposición por carbonización.

Los duroplastos se obtienen a partir de moléculas no entrecruzadas. La relación entre las cantidades de agente enlazante y endurecedor está exactamente establecida. El endurecimiento se puede acelerar considerablemente por calentamiento. Los duroplastos no se pueden soldar, sino solamente pegar.

Los duroplastos se pueden reforzar con fibras de vidrio, así como también con la extremadamente costosa pero de gran rendimiento adición de fibras de carbono o fibras de boro utilizadas para las alas de los planeadores.

También es importante saber que la calidad de un supuestamente mismo plástico puede variar enormemente. Una composición sólo ligeramente distinta de materias primas no tan puras y un cuidado insuficiente en la fabricación (know-how) pueden dar un resultado de una calidad totalmente insuficiente (fig. 4).

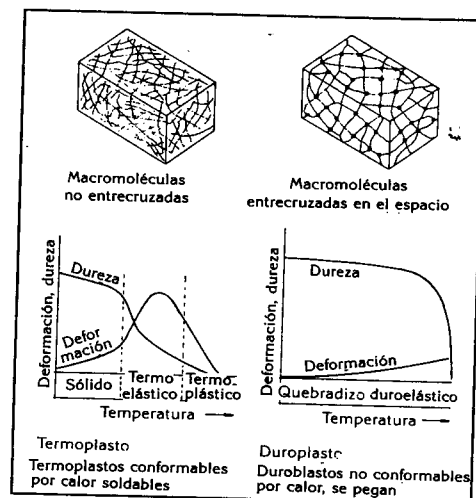


Fig. 4. Estructura interior de los plásticos, comportamiento frente a la deformación de termoplastos y duroplastos.

Materiales sintéticos para monturas de gafas

La utilización de diferentes materiales sintéticos en la fabricación de monturas de gafas ha aumentado considerablemente en los últimos años.

Hasta 1960 aproximadamente sólo existían dos materiales: celuloide y acetato. En cambio hoy en día se utilizan al menos nueve distintos materiales químicos.

Materiales para monturas:

- Celuloide, nitrato de celulosa, CN
- Acetato de celulosa, CA
- Acetato butirato de celulosa, CAB
- Propionato de celulosa CP
- Resina epoxi EP
- Poliamida PA
- Polimetacrilato de metilo, PMMA.

Materiales para lentes de contacto y vidrios para gafas:

- PMMA
- CR 39
- Policarbonato, PC

Celuloide (Nitrato de celulosa, CN)

El celuloide es el material sintético más antiguo utilizado para monturas de gafas (desde 1874) y es el plástico más antiguo en general. En el mercado europeo prácticamente ha desaparecido; sólo en Japón y en la India todavía se encuentra en cantidades considerables, debido a su buena estabilidad dimensional en aquel clima caluroso y húmedo.

Composición:

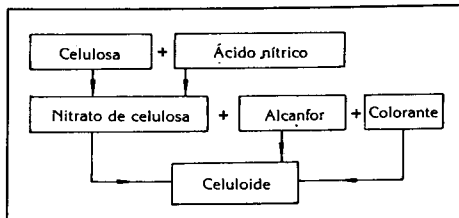


Fig. 5. Celuloide.

Datos mecánicos y técnicos:

Densidad: $1,38 \text{ g/cm}^3$, es el material para monturas más pesado.

Resistencia a la tracción: $60-70 \text{ N/mm}^2$

Dureza al impacto: $60-70 \text{ N/mm}^2$

Conformado: $70 \text{ }^\circ\text{C}$, hay que mantener la temperatura con bastante exactitud.

Límite de trabajo: $100 \text{ }^\circ\text{C}$; el material forma burbujas.

Punto de inflamación: $140 \text{ }^\circ\text{C}$; el material se inflama solo y se quema de forma explosiva.

Envejecimiento del celuloide: una de las principales desventajas es la rápida evaporación del agente plastificante alcanfor. Después de un plazo de entre medio año y un año se pueden observar los siguientes fenómenos: grietas, sobre todo entre la capa superficial y el material base, una menor elasticidad y las llamadas roturas por vejez. El alcanfor disminuye la combustibilidad del celuloide, debido a su fácil evaporación las monturas viejas se queman más fácilmente. También se observan decoloraciones del material: las monturas claras se oscurecen y un material oscuro pierde su color.

Acetato de celulosa (CA)

Ya en el año 1904 se consiguió encontrar un nuevo material, que sustituyera al celuloide que se inflamaba fácilmente y envejecía con rapidez. Era el triacetato de celulosa. Pero no fue utilizado como material para monturas hasta aproximadamente en 1930; teniendo importancia en el mercado a partir de 1945.

El acetato tenía dos ventajas:

- Mayor seguridad, menos inflamable.
- Más estable al envejecimiento.
- Fabricación más sencilla (moldeo por extrusión posible).

La plancha de acetato obtenida por extrusión representa hoy en día el material más importante y el que se encuentra en mayores proporciones en el mercado. Por el continuo perfeccionamiento del material y del método de su fabricación se pueden obtener hoy en día planchas de hasta cinco colores y combinaciones de líneas, estructuras variadas, capas de distinto color y espesor, así como otros interesantes efectos (fig. 6).

Composición:

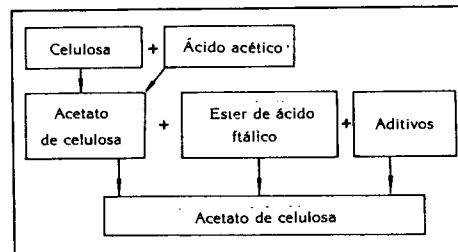


Fig. 6. Acetato de celulosa

Un ester es un enlace entre un alcohol y un ácido. Los aditivos son: catalizadores, colorantes, pigmentos, estabilizadores.

Datos mecánicos y térmicos:

Densidad: $1,3 \text{ g/cm}^3$

Resistencia a la tracción: $30-50 \text{ N/mm}^2$

Dureza al impacto: $50-80 \text{ N/mm}^2$

Temperatura de conformado: $80-100 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura límite de trabajo: $130 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura de descomposición: $180 \text{ }^\circ\text{C}$

Absorción de H_2O : $4,2 \%$.

Los datos mecánicos del acetato son ligeramente peores que los del celuloide. Debido a la absorción de H_2O relativamente alta del acetato ($4,2 \%$), la tensión disminuye y por tanto se pierde la correcta adaptación de la montura, lo que hace necesarias frecuentes adaptaciones.

El plastificante ester de ácido ftálico es mucho más estable que el alcanfor en el celuloide, pero aún así, este plastificante tiende a evaporarse o a reaccionar con el sudor de la piel humana. Sobre todo en monturas oscuras se pueden observar con el tiempo —dependiendo de la reacción individual de la piel— una capa blanquecina.

El acetato de celulosa se utiliza para la fabricación de monturas en tres variantes y métodos de fabricación distintos:

- Acetato de bloque
- Acetato de extrusión
- Acetato de inyección.

Acetato en bloque

La utilización del material en bloque se debe al método de fabricación de la celulosa en bloque. El bloque de ace-

tato acabado y monocolor se corta, de forma similar al utilizado en el enchapado en la industria de la madera, en finas láminas, que se reordenan nuevamente según el dibujo multicolor deseado. Después de un nuevo prensado y calentado se obtiene el bloque, del cual se pueden cortar las usuales planchas de 8 mm de espesor.

Este método es lento y caro debido a los largos tiempos de secado necesario para las láminas recién reordenadas; sirve, principalmente, para métodos de fabricación antiguos al estilo carey, havanna e imitación de cuerno.

Acetato de extrusión

El acetato se presenta en forma de un granulado el cual es calentado y derretido dentro de la extrusora, y finalmente forzado a través de una matriz moldeadora, pudiendo ser coloreado poco antes de salir por ésta. Hoy día son posibles un máximo de cinco colores en una misma lámina. El diseño de los colores está siempre en dirección de la extrusión; nunca perpendicular, como sí es posible en el caso del acetato en bloque. El acetato de extrusión no contiene disolvente, por tanto no necesita largos tiempos de secado.

La lámina obtenida por extrusión se puede trabajar inmediatamente, por ejemplo por fresado del frente de una gafa

Acetato de celulosa inyectado

En el mercado de las gafas de sol económicas existen también monturas de acetato inyectas. Este método de fabricación barato reduce considerablemente las propiedades mecánicas y térmicas de este material. Es común una proporción de plastificante de hasta un 30 %. El acetato por inyección tiene tensiones internas grandes, porque el material en estado líquido es inyectado dentro del molde a unos 200 °C, evaporándose parte del plastificante. Al calentar una montura inyectada, ésta sufre fácilmente grandes deformaciones, pliegues y arrugas.

Consejos para la manipulación del acetato **a/ Trabajado por corte**

—Temperatura: 80 hasta un máximo de 100 °C, si no el acetato se ablanda demasiado.

—Serrado y limado: utilizar herramientas con un ángulo de filo muy puntiagudo y grandes bandejas de recogida de virutas.

—No trabajar demasiado rápido (calor de fricción).

—Taladrar: de forma rápida y continua, sin interrupción; no taladrar sin avanzar.

—Esmerilado: con papel muy fino, 320-400 hasta que ya no sean visibles estrías.

—No se deben eliminar por pulido las estrías debido al trabajado, sino que deberemos lijarlas.

—Afinado: poner un número de revoluciones alto, presionando ligeramente. Utilizar el «disco» de trapo de afinado y cera.

—El afinado ha terminado cuando toda la superficie tiene un aspecto mate.

—Pulido: utilizar el disco de trapo y cera. Eliminar previamente el material de afinado.

—Pulido para sacar brillo: con disco de trapo seco, sin material pulidor.

b/ Pegado

Dificultades en el pegado se presentan paralelamente por el diferente grado de esterilización de los diversos tipos de acetato. ¡Acetato de bloque de baja esterilización y acetato de extrusión de elevada esterilización no deberían pegarse!

La acetona, de gran acción disolvente, puede a menudo atacar de forma demasiado fuerte al acetato de extrusión. Aún así hay un fabricante que aconseja acetona para su acetato de extrusión.

En caso de un material conocido, lo mejor es seguir el consejo del fabricante; un material desconocido es preferible tratarlo con cuidado con disolventes menos fuertes, por ejemplo acetato de etileno o acetato de metilglicol. ¡No es posible pegar los dos materiales acetato y propionato!

c/ Introducción del vidrio y adaptación

La montura no se encoge al enfriarse. Por eso hay que cortar el vidrio con una tolerancia igual a cero, ¡o de un tamaño hasta 2/10 mm mayor!

La temperatura de conformado es de 80-100 °C, pero también puede ser en algún caso de sólo 50-60 °C. El contenido en plastificante también influye en el punto de ablandamiento. El material puede ablandarse rápidamente dentro de un intervalo de temperatura pequeño.

El acetato de bloque generalmente se ablanda más rápidamente que el acetato de extrusión.

Acetobutirato de celulosa (CAB)

Si la celulosa se esterifica no sólo con ácido acético sino con ácido acético y ácido butírico, se obtiene acetobutirato de celulosa.

Este material corresponde en sus propiedades y en su manipulación al propionato de celulosa.

Utilización como tope inyectado en planchas metálicas. Algunos fabricantes también hacen monturas inyectadas de material CAB.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó, de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

Plásticos

Propionato de celulosa (PC)

El propionato de celulosa es uno de los productos más modernos en el mercado de las monturas de gafas, en 1976 existían gran número de monturas de PC. Hoy en día existen también planchas de PC, según el proceso de fabricación en bloque que hacen posible trabajar el propionato con el método tradicional de fresado.

Químicamente se trata de celulosa que ha sido esterificada con ácido propiónico, por lo que las propiedades de uso se pueden variar enormemente, tanto en sentido positivo como negativo.

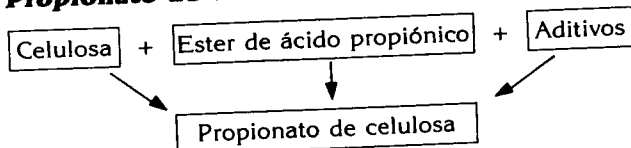
Muchos ópticos han tenido malas experiencias con propionatos baratos. Las tensiones, siempre existentes en una montura obtenida por inyección de material, desaparecen, en las monturas de baja calidad, con temperaturas de 50 °C, por lo que la montura pierde su forma.

Una montura de PC de buena calidad tiene las siguientes ventajas frente al acetato:

- menor densidad y por lo tanto menor peso y mayor comodidad
- buena estabilidad al ataque por el sudor de la piel
- muchas menos personas son alérgicas al PC.

Como el propionato es un material que sólo está al inicio de su desarrollo, el cual, como en todos los nuevos productos, necesita muchos años, es de esperar que a la larga dominará al acetato en el mercado de las monturas.

Propionato de celulosa. Composición



Datos mecánicos y técnicos

Densidad:	1,22 g/cm ³
Resistencia a la tracción:	30 a 50 N/mm ²
Resistencia a la flexión:	40 a 60 N/mm ²
Resistencia al impacto:	50 a 80 N/mm ²
Temperatura de conformado:	80 a 115 °C
Temperatura de deformación:	150 °C
Temperatura límite de trabajo*	180 °C
Absorción de agua:	2,6 %

Consejos para su manipulación

a) Trabajado por corte:

*Temperatura límite a partir de la cual empieza la combustión del material.

Son válidas las mismas reglas que para el acetato, por que el propionato es un derivado de la celulosa de composición muy parecida.

b) Pegado

¡La acetona no es apropiada para pegar propionato! Generalmente la acetona disuelve demasiado plastificante en la zona de pegado. Es aconsejable utilizar una disolución de acetato de etilo y acetato de metilglicol aproximadamente en partes iguales.

c) Colocación de la lente y adaptación

En general son válidas las normas dadas para el acetato. A una buena montura de propionato se le puede montar la lente calentándola a 80 °C, sin tener que calentar a temperaturas a las que se podrían romper las tensiones debidas a la inyección.

Las monturas de importación baratas** se ablandan bastante a estas temperaturas, perdiendo sus tensiones internas que le dan forma.

El fabricante puede variar enormemente el grado de dureza del propionato. Todos los datos numéricos pueden variar, siendo tanto mayores como menores a los dados en la tabla de datos anterior.

Resina epoxi (EP)

Las resinas epoxi son materiales para monturas que no tienen como material base la celulosa. Este producto surgió en el mercado en 1969 bajo el nombre comercial de «Optyl».

Al principio este material presentaba algunos problemas como la formación de burbujas. En la actualidad, el método de fabricación ha evolucionado favorablemente teniendo el material Optyl una gran implantación en el mercado.

Las ventajas específicas de las resinas epoxi son:

- densidad baja
- elevada dureza
- buena resistencia al rayado
- elevada resistencia a la deformación frente a la temperatura.

La resina epoxi no contiene plastificante con lo que se evita la evaporación y el resecamiento. No pierde nunca el color ni se deforma. Como puede resistir durante un corto tiempo temperaturas de hasta 350 °C, suele ser indestructible.

Conformado

El epóxido requiere básicamente otros métodos de conformado. El material se vierte en un molde en el que se ha hecho el vacío o a baja presión. Las charnelas ya están colocadas en el molde y se funden en la masa.

La masa líquida puede ser incolora o ya coloreada. El endurecimiento, es decir, el entrecruzamiento de las macromoléculas por poliadición, tiene lugar a temperaturas de aproximadamente 100 °C y dura aproximadamente 1/2 hora. El resultado es una montura con un diseño definitivo. Le siguen los trabajos usuales como: limado de las aristas del molde, fresado de la ranura, montaje, así como un posible coloreado por inmersión y en cualquier caso barnizado y recubrimiento de protección.

Superficie:

El material Optyl se colorea superficialmente con barniz o por lacado dándole su brillo un recubrimiento formado por una capa de poliuretano.

No es aconsejable ningún tratamiento posterior de la superficie.

Forma:

Una característica del epóxido es que mantiene para

**El autor se refiere a las monturas de importación en Alemania.

siempre la forma obtenida al ser vertido en el molde, y que básicamente, no la pierde al someterlo a calor. Cada adaptación es simplemente un enfriamiento de la nueva forma dada. Si se vuelve a calentar la montura recobrará su forma inicial, es decir, la del molde. Este «efecto memoria» se debe a la estructura química del material.

Composición

La resina epoxi se compone de resina y endurecedor. Debido a la complicada estructura de las materias que la componen. —Resina: eter de diglicilil de bisfenol A y endurecedores amínicos— que sólo entiendo el químico, no se darán más detalles al respecto.

Más conocido y fácil de comprender es otra resina epoxi: el UHU-Plus, un pegamento de dos componentes que seguramente se puede encontrar en todos los talleres de óptica*.

Datos mecánicos y técnicos

Densidad	1,1 g/cm ³ .— Muy ligero
Resistencia a la tracción:	75 N/mm ²
Resistencia a la flexión:	110 N/mm ²
Resistencia al impacto:	130 N/mm ²
Temperatura de conformado:	Nunca por debajo de 80 °C Óptimo entre 100 y 130 °C
Temperatura de deformación:	250 °C;
Absorción de agua	hasta 350 °C corto tiempo Prácticamente igual a 0 %

Consejos para su manipulación

a) Trabajos de corte

No se realizan porque no existe material en bloque. No es aconsejable efectuar ninguna manipulación posterior de la montura porque la superficie está lacada o coloreada y además lleva el recubrimiento de protección.

b) Pegado

El material Optyl es insoluble a los productos químicos conocidos por el óptico.

Como pegamentos se pueden utilizar los pegamentos de dos componentes (UHU Plus, Araldit) o los llamados pegamentos rápidos (Socomet, Cyanolit).

Aunque esta unión sea resistente y duradera, siempre será visible.

c) Colocación de la lente y adaptación

La introducción de la lente en las monturas de resina epoxi no presenta problemas. El vidrio se puede montar con una tolerancia igual a cero, la montura se contrae adaptándose al vidrio. En el caso de lentes orgánicas CR39 es recomendable montar la lente fría en la montura muy caliente.

La adaptación es algo más problemática. No es posible encontrar al forma correcta de la varilla progresivamente pues con cada calentamiento vuelve a su forma inicial debido al «efecto memoria» del material.

Tampoco es posible que el usuario lleve la gafa puesta durante la fase de adaptación porque la montura está demasiado caliente y es necesario mantener fija la forma correcta de la gafa.

Por lo tanto sólo queda la posibilidad de obtener una buena adaptación realizando muchas comprobaciones. Un enfriamiento con aire frío o agua disminuye el tiempo que hay que mantener fija la nueva forma de la montura o de la varilla. El número de pruebas de adaptación depende de la habilidad del óptico y de la paciencia del paciente. Desde el punto de vista técnico, la montura se puede calentar y deformar todas las veces que sea necesario sin que sufra ningún daño (fig. 1).

*En España es más conocido otro pegamento parecido: «Araldit».

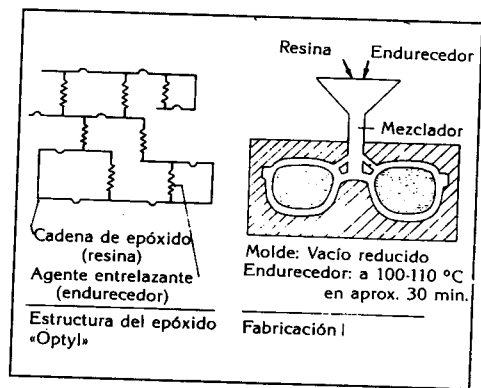


Fig. 1

Poliamida (PA)

En el mercado de las monturas existen dos variantes de poliamida claramente diferenciadas. Hace bastante tiempo que las monturas de poliamida ocupan una posición privilegiada en el campo de las gafas de protección y de la gafa deportiva.

Las cualidades de la poliamida son su seguridad frente a las roturas y su resistencia a los golpes, bastante superiores a las de otros materiales sintéticos.

Nombres comerciales conocidos de poliamidas son Perlon, Nylon, Rilsan, Ultramid, etc.

Seguramente el producto más conocido es el taco de nylon, que, por ejemplo, bajo el nombre de marca «Taco Fischer», es una ayuda casi imprescindible para el bricolaje: sujeción de estantes, cuadros, relojes de pared, etc.

Desde hace dos años existe también una (así llamada) «copoliámida amorfa». Su nombre de marca es SPX y fue desarrollada especialmente para monturas de gafas. Se trata de un material sintético, termoplástico y transparente, que se fabrica mediante el proceso de inyección.

Además de las ventajas típicas en la poliamida como elevada seguridad frente a roturas y su resistencia a los golpes, el SPX tiene otras ventajas como una densidad muy baja (hoy en día es el material más ligero), elevada dureza y elevada resistencia, así como, gran resistencia a la deformación debido a que este material no contiene plastificante.

Datos mecánicos y técnicos:

Densidad	1,04 g/cm ³
Resistencia a la tracción:	75 N/mm ²
Resistencia al impacto	130 N/mm ²
Temperatura de conformado:	50-80 °C
Temperatura de deformación:	100-110 °C. El SPX se ablanda mucho en un intervalo de temperatura relativamente pequeño
Temperatura límite de trabajo:	140 °C, a temperatura mayor el SPX se inflama apagándose él sólo
Absorción de agua:	1,2 %

Otras ventajas son:

- Elevada resistencia química frente a los cosméticos, alcohol, aceite.
- Posibilidad de contraerlo calentándolo con cuidado a casi 110 °C.

Consejos para su manipulación

- a) Trabajo por corte:
No es posible.

b) Pegado

La poliamida no puede ser pegada por el óptico. Pruebas con pegamentos de dos componentes o pegamentos rápidos sólo han dado resultado como reparación de emergencia. Para las gafas deportivas o de protección no es aconsejable este tipo de reparación por motivos de seguridad.

c) Colocación de la lente y adaptación:

La adaptación de las gafas deportivas y de protección es muy difícil pues el material pasa de un estado sólido a un estado muy blando en un intervalo de temperaturas muy pequeño. Cuando se retira la gafa del calentador, la poliamida se endurece casi inmediatamente.

El SPX moderno es muy elástico y se puede moldear a partir de temperaturas de aproximadamente 50-80 °C. Las lentes de CR39 se pueden montar en frío.

El lacado final del material SPX descarta, como en el caso del epóxido, un tratamiento posterior de la superficie por el óptico.

Polimetilmetacrilato (PMMA)

Conocido bajo el nombre de plexiglas o vidrio acrílico. Las primeras lentes de contacto se fabricaron con este material.

Ventajas del PMMA

- Buenas propiedades mecánicas
- Buena estabilidad frente a influencias climatológicas.
- Elevada transparencia.

Datos mecánicos y técnicos:

Densidad:	1,2 g/mm ³
Resistencia a la tracción:	110 N/mm ²
Resistencia al impacto:	130 N/Mm ²
Temperatura de conformado:	100 - 130 °C

Este material relativamente antiguo (desde 1928) también se utiliza mucho en la óptica instrumental: lupas, lentes, prismas, láminas y monturas son típicos productos de metacrilato. También para experimentos de tensión óptica se utilizan modelos de PMMA.

Las monturas de plexiglas son conformadas por moldeo y tienen propiedades similares a las monturas de acetato. Cuando se montan las lentes hay que calentarlas al menos hasta 100 - 130 °C pues por debajo de esta temperatura el material es relativamente quebradizo.

Para pegar este material solo deben utilizarse pegamentos especiales para metacrilato o pegamentos rápidos. El PMMA se puede pulir fácilmente.

Estos valores son válidos para los productos utilizados en el mercado. Como los plásticos varían mucho, según su grado de esterificación, tipo de plastificante y contenido de éste, así como los tipos de aditivos, son posibles grandes variaciones de estos valores medios. Los datos dados en la tabla I corresponden a productos de calidad de fabricantes importantes como Bayer, Dynamid Nobel y Rhone Poulenc.

Procesos de fabricación industrial de monturas

Obtención del material base.— Ejemplo: celulosa y acetato.

La celulosa es una materia prima de origen vegetal, que se encuentra en las paredes celulares y que representa el esqueleto de la planta. La celulosa de mayor calidad es la obtenida a partir de los «linters» de algodón: estos son los cortos pelitos de las semillas del algodón que ya no son aptos para la fabricación de fibras y tejidos.

Para la fabricación de acetato de celulosa se utilizará ácido acético concentrado, que actúa sobre la celulosa durante

1 a 2 horas aproximadamente dentro de máquinas de amasar. La obtención de acetato tiene lugar entonces a partir de ácido acético al que se le ha extraído el agua, junto con catalizadores, como cloruro de zinc o ácido sulfúrico. Añadiendo agua se obtiene el ester de celulosa. Si ahora, además, se añade plastificante, colorantes y pigmentos, se obtiene el material sintético listo para su posterior conformado.

Tabla I. Materiales plásticos para monturas de gafas

	Celuloide	Acetato (cellidor)	Propionato	Epóxido (Optyl)	Poliamida (SPX)
Densidad g/mm ³	1,38	1,3	1,22	1,1	1,04
Resistencia a la tracción N/mm ²	60-70	30-50	30-50	75	75
Resistencia a la flexión N/mm ²	60	40-60	40-60	110	—
Resistencia al impacto (HB60) N/mm ²	60-70	50-80	50-80	130	130
Temperatura de conformado °C	70	80	80	110	60
Absorción de agua	—	4,2	2,6	0,2	1,2

Resumen de los métodos de transformación de los diferentes materiales para monturas de gafas

Los diferentes materiales para monturas también tienen un proceso distinto de transformación a partir de las materias primas.

En particular se fabrica:

- Acetato: en bloque, en planchas de extrusión, por inyección.
- Propionato: en planchas de extrusión, por inyección.
- Epóxido: monturas casi terminadas por moldeo a baja presión.
- Poliamida: moldeo por inyección.

Fabricación del acetato en bloque

Las materias primas del acetato en bloque son, como ya se dijo, acetato de celulosa, ester de ácido ftálico y acetona. Para poderlo trabajar mejor se le añade un disolvente (alcohol). Cuando todos los componentes están bien mezclados y la masa es completamente homogénea, al mismo tiempo que parte del disolvente se evapora, el material se pasa por un taller de laminado siendo el resultado una plancha de varios m² y de un grosor de 5 a 20 mm.

En este momento del proceso de fabricación existe la posibilidad de obtener distintos coloridos y efectos decorativos especiales con colorantes o introduciendo varillas, dados, y otros elementos de distinta coloración dentro del sistema de rodillos. Varias de estas planchas se superponen y se sueldan a una temperatura de 100 °C y una presión de 2000 N/cm², formando bloques.

Según el efecto que se quiera obtener, se pueden juntar y soldar toda clase de planchas. Los bloques así obtenidos se vuelven a cortar en máquinas cortadoras para obtener nuevas planchas. Se obtiene, parecido al chapado en madera, planchas de entre 0,1 y 20 mm de grosor.

Estas planchas recién cortadas se vuelven a reordenar, según el efecto decorativo deseado, y se sueldan nuevamente. Este proceso se puede repetir varias veces, por lo que no haya casi límite de efectos posibles.

La ventaja del acetato en bloque está en que, con la ayuda de esta técnica de reordenación, se pueden obtener buenas imitaciones de cuerno, marfil y carey y muchos tipos de havanna.

La desventaja de esta técnica está en el largo proceso de secado, siendo necesarios 5 a 12 días por mm de grosor de plancha. En total se necesitan 2 o 3 meses de tiempo para el secado del bloque.

Las monturas de acetato en bloque no siguen, en general, las tendencias modernas sino que se fabrican en colores y formas clásicas.

Después del secado, las láminas son ásperas y onduladas, porque es necesario aplanarlas con calor en prensas de pulido y después troquelar los bordes.

Fabricación por extrusión de monturas de acetato y propionato

La principal diferencia con el acetato en bloque es que no se le añade disolvente. De la mezcla de las materias primas, distinta a la del acetato, se obtiene un granulado que puede pasar inmediatamente al proceso de extrusión.

Una máquina de extrusión se basa, en el caso más sencillo, en un cilindro calentado en el que el material plástico caliente es propulsado y finalmente forzado en la salida por una boquilla. Más común es el proceso de extrusión en el que el granulado es propulsado por un tornillo sin fin, donde es calentado, compactado y finalmente expulsado con una elevada presión. La boquilla tiene distintas formas, generalmente rectangular. Una cinta transportadora traslada el material expulsado y una máquina de corte la divide en láminas de dimensiones manejables. Estas planchas se convertirán, igual que las de acetato de bloque, después de muchos pasos y procesos, en frente de gafas y en varillas.

Moldeo por inyección de acetato, propionato y poliamida

En este método, el granulado es forzado a introducirse en un molde cerrado que corresponde exactamente al frente de la gafa terminada. Como las charnelas ya están colocadas en el molde, son rodeadas por el polímero obteniéndose, en pocos segundos, un frente o una varilla terminada en su diseño definitivo. Estas máquinas de inyección son parecidas, en su construcción, a las de extrusión. También aquí el granulado es compactado en un cámara cilíndrica o un tornillo sin fin y expulsado en los modelos formados por dos piezas unidas.

Otros elementos de la gafa, típicos del moldeo por inyección son:

Cejas, puentes y soportes nasales (fig. 2).

Fabricación de gafas a partir de planchas. Material en bloque

El producto de partida en este método de fabricación de monturas, son planchas de acetato de bloque de 3,5, 5, 6 o 8 mm de espesor aproximadamente. Primero se cortan las planchas, para hacerlas más manejables, del tamaño de la montura, esto es, aproximadamente a un tamaño de 160x70 mm. En máquinas automáticas o en fresadoras manuales, según la cantidad de la serie del modelo, se obtienen, después de numerosas operaciones, los frentes y las varillas.

Los principales pasos de trabajo son:

- Pegado de los apoyos nasales
- Fresado de la forma exterior
- Fresado de la forma interior y obtención de la ranura del aro
- Rebajado del perfil de frente y limado del puente
- Fresado del taco de apoyo de la varilla
- Colocación de las charnelas

En un proceso aparte se han fresado las varillas a partir

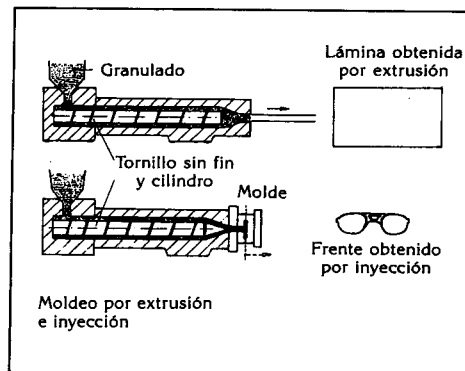


Fig. 2

de planchas del mismo material y tono, en las que se introduce el núcleo metálico con la charnela soldada.

El acabado de la superficie, tanto del material trabajado por fresado como del material obtenido por moldeo de inyección, tiene lugar en grandes agitadores de tambor (bombos) en los que, en varias fases, van girando y puliéndose las piezas por choque entre sí y con la ayuda de piezas de pulido que son pequeños tacos de madera en forma de rombos o palillos y de líquido de pulir.

Los últimos pasos en el proceso de acabado de una montura son: pulido manual, grabado de la marca, nombre y calibre, enderezado, control de calidad final y empaquetado.

Los esquemas siguientes (fig. 3) muestran tres distintos tipos de acetato de extrusión. Antes de que el polímero líquido sea presionado a través de la boquilla, es coloreado por medio de un máximo de cuatro boquillas de extrusión. El diseño de la montura se encuentra siempre en la dirección de expulsión, al contrario que en el acetato de bloque.

El material puede ser monocolor, bicolor con capa recubridora o con manchas, de tres o cuatro colores intercalados o con la zona del puente más clara (degradado). Salta a la vista la regularidad o simetría de las manchas, capas o decoraciones.

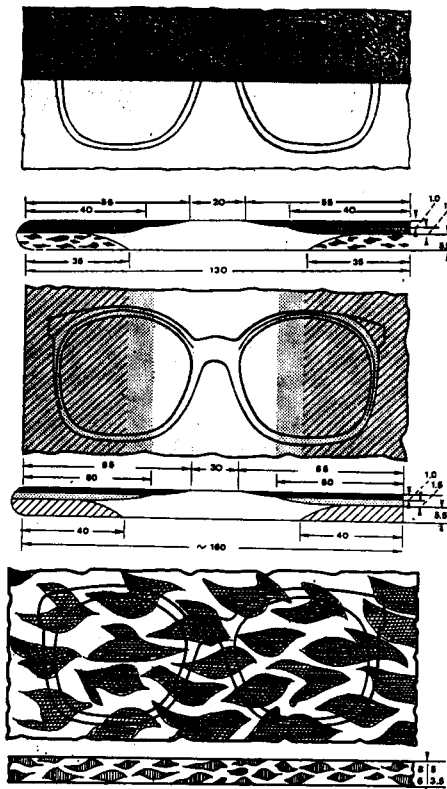


Fig. 3

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvado, de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrasa

Plásticos

Reconocimiento y diferenciación de los materiales para monturas de gafas

a) Material en planchas superpuestas, fresado

Las monturas fresadas a partir de planchas obtenidas por superposición de otras planchas, casi siempre acetato o bloque, se reconocen sobre todo el gran número de colores y diseños que se pueden observar en toda la profundidad del material. Si se observa una montura de este material por una arista de corte, por ejemplo, en el talón, se pueden ver claramente las capas de diferentes colores.

b) Material en planchas obtenido por extrusión, fresado

El material obtenido por extrusión tiene las siguientes características:

- Tonos regulares
- Capas en formas onduladas.
- Cuñas simétricas
- Gotas mezcladas entre sí.

Otra característica clara es la regularidad del color y del diseño. Al contrario que en el material de bloque obtenido por superposición de capas, se caracteriza por aristas rectas y por las tradicionales imitaciones de materiales naturales como cuerno y carey.

Para los métodos de fabricación es válido: Característica de las monturas fresadas a partir de un bloque, es que el calibre (tamaño de la montura) está grabado en el material (en relieve hacia el interior)

c) Materiales por moldeo por inyección y colada

Por moldeo por inyección suelen fabricarse normalmente sólo piezas monocolors, que posteriormente son coloreadas en la superficie por inmersión o lacado. Es importante saber reconocer este método de fabricación porque estas monturas han de ser pulidas e incluso limadas sólo con extremo cuidado.

Una característica típica de este tipo de monturas es que la indicación del calibre (tamaño) se realiza por superposición de números en relieve sobre la superficie del material.

También la charnela nos da una idea sobre el método de fabricación: las charnelas incrustadas por medio del calor o ultrasonidos están raramente recubiertas del material de la montura y no tienen seguro contra la torsión.

Las charnelas colocadas durante el moldeo o la colada suelen tener uniones muy anchas y profundas dentro del material.

En general las monturas obtenidas por inyección tienen formas complicadas: como curvas tridimensionales o relieves negativos, y resaltan menos por su colorido.

Otra diferenciación de los materiales se obtiene observando las varillas. Los acetatos y propionatos tienen en el interior de la varilla una estructura metálica mientras que los epóxidos y las poliamidas, debido a su elevada resistencia, no tienen, en general, interior metálico o sólo una pieza pequeña en la charnela.

Para más diferenciación se puede utilizar un test de disolución con acetona en un lugar disimulado como puede ser en la ranura. Los acetatos y propionatos son atacados fácilmente y los epóxidos y poliamidas muy poco o casi nada.

La diferenciación entre epóxido y poliamida se realiza de la forma más fácil gracias al «efecto memoria» del epóxido: el material recupera su forma inicial después de un elevado calentamiento. La poliamida no lo recupera y se deforma por lo que puede ser descrita casi como fríaselástica.

La diferenciación entre el acetato y el propionato se puede hacer con la ayuda del fabricante, que por regla general indica las monturas de propionato al grabar las letras P o CP. De quedar dudas, se puede hacer el test de ataque del benzol: mientras el acetato no es atacado, el propionato presenta a los pocos segundos una superficie mate.

Una vez el material está correctamente indentificado, puede ser la montura tratada con la técnica apropiada.

Materiales sintéticos para lentes, lentes de contacto y prismas

Los materiales orgánicos utilizados para fabricar elementos ópticos son:

- PMMA (Plexiglas)
- CR 39
- Policarbonato (PC)

PMMA (Plexiglas)

Como ya se indicó en el capítulo de los materiales para la fabricación de monturas de gafas, su elevada transparencia, su dureza mecánica y su resistencia química hacen que este material también sea útil para la fabricación de elementos ópticos. Aunque no se alcanzan las cualidades del vidrio óptico, se utiliza el metacrilato en muchos casos para la fabricación en masa de material óptico.

CR 39

El material CR 39 se utiliza casi exclusivamente para la fabricación de lentes graduadas y solares. CR 39 son las siglas de Columbia Resin 39 de la empresa americana Pittsburgh Platte Glass. Su desarrollo se remonta al año 1940.

Datos ópticos-técnicos:

- Índice de refracción: $n_c = 1.501$
- Número de Abbe: $v_d = 58.0$
- Transmisión de UV (punto de corte): 50 % a 380 nm

Descripción de las propiedades

La característica más importante del CR 39 es su baja densidad, sólo la mitad de la del vidrio crown B270. Debido a su índice de refracción ligeramente menor, los vidrios orgánicos son algo más gruesos que los vidrios crown pero el ahorro de peso es de hasta un 40 %. Por motivos de estabilidad mecánica es necesario, en el caso de lentes negativas, que el espesor de centro sea por lo menos de 2 mm. La dispersión es prácticamente idéntica a la del B270. En la zona de los UV, el CR 39 incoloro absorbe claramente más radiación que el vidrio crown normal.

fuerzas intermoleculares disminuyen debido a la mayor distancia entre ellas y se aumenta, o se hace posible, la evaporación del plastificante por las grasas y en consecuencia pierde resistencia mecánica ya que el polímero más pobre en plastificante es mecánicamente menos resistente.

Las medidas preventivas contra la corrosión son diferentes que en los metales. Mientras que en estos se mejora sobre todo la protección de la superficie, en los polímeros es necesario cambiar completamente el material, es decir, incluyendo estabilizantes para la radiación UV, utilizando sustancias bases con menos plastificante o con uno más resistente.

Una normalización de los datos sobre la corrosión de los materiales plásticos es muy difícil pues la piel humana, incluso en la misma persona, varía según la edad, el estado de salud o incluso según el estado psíquico. No es posible hacer previsiones exactas sobre el tiempo de vida de una montura plástica. Al desarrollo de este tipo de material todavía le falta mucho para llegar a su fin. Una montura de material plástico cualitativamente buena siempre tendrá éxito y por tanto tendrá buena aceptación entre los usuarios.

Vidrio

Historia de la fabricación del vidrio

No se conocen muy bien los inicios de la fabricación del vidrio pero seguro que se remontan por lo menos a 7.000 años a J.C. Hay teorías que indican que el vidrio surgió como un esmalte en cerámica, o que el vidrio fue un producto casual de la fusión del bronce. Una fabricación planificada se realizó por primera vez en la alta cultura egipcia, donde tenían muchos problemas en la obtención de las elevadas temperaturas requeridas.

Una revolución en la técnica del vidrio fue la introducción de la caña de soplar, aprox. 200 a J.C. que permitió el soplado de cuerpos huecos. Los romanos siguieron desarrollando el arte del vidrio y alcanzó su mejor época en la Edad Media en Venecia. El cristal más puro, con su inimitable brillo, se sigue fabricando allí, siendo algunos métodos de fabricación sólo conocidos en Venecia.

Hasta finales del siglo XVII el vidrio era un artículo de lujo, y una ventana vidriada (vidriera) era un claro signo de riqueza. El camino seguido hasta la actual tecnología del vidrio es largo y muy difícil de seguir, porque casi todos los métodos de obtención se mantenían en secreto y se heredaban como una receta celosamente guardada.

En el estricto sentido científico, la fabricación industrial del vidrio sólo existe hace unos 100 años, y va unida fuertemente a los nombres de Otto Schott y Ernst Abbe. Ellos fundaron en 1884, junto con Carl Zeiss, el Laboratorio Téc-

nico del Vidrio Schott y asociados, del que surgió la empresa que hoy en día es uno de los fabricantes mundiales más conocidos de vidrios especiales.

Descripción del vidrio

Aunque la obtención del vidrio se remonta a unos miles de años, hasta hoy en día no se puede contestar de forma clara a la pregunta: ¿Qué es el vidrio?

Una definición conocida es:

El vidrio es un producto de fusión inorgánico que llega a un estado sólido sin cristalizar al enfriarlo.

O también:

El vidrio es un líquido subenfriado.
El vidrio es, por su estructura interna, un cuerpo amorfo.
El vidrio no tiene punto de fusión definido.

La verdad es que el vidrio se comporta como un líquido extremadamente viscoso, que aunque a simple vista no se ve, se puede medir y calcular.

En comparación con el vidrio, un metal tiene un punto de fusión determinado y medible con exactitud. La estructura molecular de un metal es cristalina, esto es, sus moléculas se ordenan de una forma determinada y según unas reglas.

En cambio, en el vidrio la ordenación de las moléculas es siempre distinta. Al enfriar la masa líquida, los componentes forman, al azar, una red espacial de tetraedros de SiO_4 . El vidrio no tiene un punto de fusión, sino que pasa, en un amplio intervalo de temperatura, del estado sólido al líquido. Su estado se describe primero como blanco, luego viscoso y finalmente líquido por lo que podemos afirmar, como se ha dicho anteriormente que el vidrio sólido no es otra cosa que un líquido extremadamente viscoso.

Vidrio es un término que designa a un gran número de materias que se encuentran en estado vítreo. También en la naturaleza se pueden encontrar minerales vítreos, como por ejemplo, la obsidiana que es una forma vítrea con la que se presentan varias rocas volcánicas y que está compuesta por arena, sodio y cal. Los pueblos del Este del Mediterráneo y los Aztecas en Méjico, lo utilizaban como objeto de culto y para uso corriente.

La capacidad para la formación de vidrio la poseen, sobre todo, los enlaces de oxígeno del silicio, boro, germanio, fósforo y arsénico. Pero bajo ciertas condiciones extremas también pueden pasar al estado vítreo aleaciones metálicas sin óxidos y materias orgánicas (glicerina a -90°C)

Hasta el siglo XVII, para la obtención del vidrio casi sólo se utilizaba arena, sosa, cal y potasa. Hoy en día se añaden al vidrio, según su finalidad, casi todos los elementos desde el hidrógeno hasta el uranio. El vidrio óptico puede estar compuesto hasta por 20 elementos distintos, siendo sus posibilidades de utilización desde el cable de fibra óptica, pasando por la fibra de vidrio textil y por la cerámica de vidrio, hasta los vidrios conductores de electrones.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó, de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Descripción del estado vítreo

Desde el punto de vista físico, todos los vidrios son inestables, comparados con un cristal del mismo tipo y composición. Si se enfría la masa líquida de cualquier material, debería empezar la cristalización por debajo del punto de fusión. El motivo de que esto no tenga lugar en el vidrio se debe, esencialmente, a la estructura de los tetraedros del SiO_4 entrecruzados en el espacio. Estos enlaces se deberían romper antes de poder obtener la típica formación de cristales. Pero en las moléculas de vidrio esto no es posible hasta temperaturas muy bajas, donde la viscosidad impide la reordenación de los grupos moleculares. La tendencia a la cristalización (denominada desvitrificación) disminuye en el caso general con la velocidad de enfriamiento y con el número de componentes en la mezcla. Sólo es deseable la desvitrificación en el caso de las vitrocerámicas.

Se puede mostrar esquemáticamente la diferencia entre un sistema cristalino y un sistema vítreo en un diagrama del volumen frente a la temperatura.

El sistema cristalino muestra un salto al alcanzar la temperatura de fusión: su volumen disminuye de golpe.

En cambio el sistema vítreo, como líquido subenfriado, sigue, paulatinamente, aumentando su densidad: ni a temperatura ambiente alcanza la densidad del cristal (fig. 1).

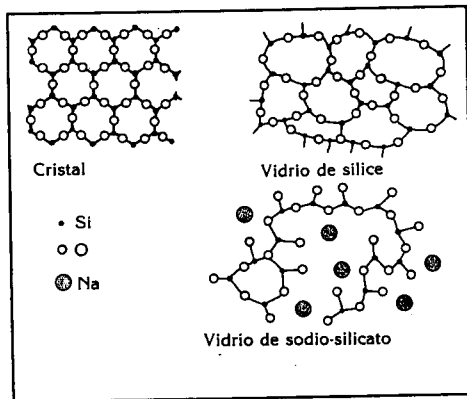


Fig. 1. Distintos tipos de estructura de tetraedros de SiO_4 .

Para obtener una medida que sea más o menos comparable a la temperatura de fusión de un metal, así como para comparar los distintos tipos de vidrio entre sí, se introdujo la temperatura de transformación: Es la temperatura a la que la masa fundida se solidifica formando la estructura vítreo.

Esta temperatura se obtiene representando en un sistema de coordenadas el volumen frente a la temperatura. Se obtiene una curva típica en la que, a partir de una elevada temperatura, su pendiente crece mucho. Si se traza la tan-

gente a las dos partes de esta curva, el punto de corte corresponde a esta temperatura de transformación T_g . En él, el coeficiente de dilatación aumenta mucho y desaparecen las tensiones existentes, pasando el vidrio a un estado viscoso fundido. En el proceso de fabricación del vidrio es necesario recorrer este intervalo lo más lentamente posible (fig. 2).

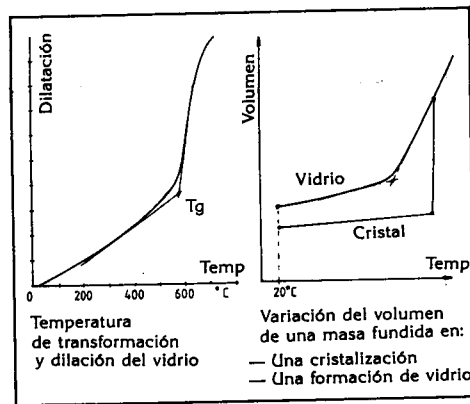


Fig. 2. Temperatura de transformación T_g —Variación del volumen.

Propiedades ópticas del vidrio

Las propiedades ópticas de un vidrio vienen determinadas por:

- Índice de refracción
- Dispersión
- Reflexión, absorción, transmisión
- Efecto del color.

Los datos ópticos básicos, conocidos por el óptico, no se deducen. Todos los datos se refieren, si no se menciona específicamente, al sistema vidrio/aire, y todos los valores numéricos al vidrio crown B270, usado comúnmente.

Índice de refracción

Para la indicación de las propiedades refractivas de un vidrio se utiliza el índice de refracción principal n_e . Como el índice de refracción depende de la longitud de onda de la luz, el subíndice nos indica la longitud de onda utilizada en la mediación. Las tres longitudes de onda de referencia más importantes para el vidrio óptico son:

$e=546,07$ nm corresponde a la línea verde del mercurio (Hg)

$F'=479,99$ nm corresponde a la línea azul del cadmio (Cd)

$C'=643,85$ nm corresponde a la línea roja del cadmio (Cd)

Para una superficie óptica esférica con un radio de curvatura r , la potencia* viene dada por: $D = \frac{n_e - 1}{r}$

*Nota: Con este término «potencia» se refiere al poder refractor o potencia esferométrica y no a la morsa de la focal.

Una superficie de vidrio crown con un radio de $r=105$ mm y $n_e = 1.525$, tiene una potencia de:

$$D = \frac{1.525 - 1}{0.105 \text{ m}} \rightarrow D = 5.00 \text{ dpt.}$$

Por tanto, se obtienen mayores potencias con radios menores y/o con vidrios con un mayor índice de refracción n_e (fig. 3).

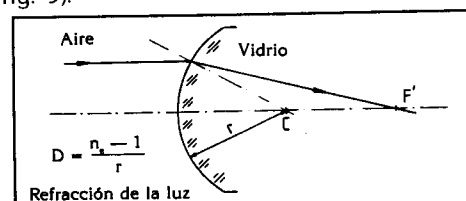


Fig. 3.

Dispersión

Para la descripción de la dispersión se utiliza el número de Abbe μ_e :

$$\mu_e = \frac{n_e - 1}{n_F - n_C}$$

Ejemplo: Un vidrio crown B270 tiene los índices de refracción:

$$n_e = 1.5252; n_F = 1.5298 \text{ y } n_C = 1.5208$$

$$\mu_e = \frac{1.5252 - 1}{1.5298 - 1.5208} \rightarrow V_e = 58,3$$

Cuanto mayor sea el número de Abbe, menor será la dispersión y por tanto, menor será la aberración cromática y serán menos molestos los bordes coloreados de los objetos cuando se mire a través de la lente, fuera de su centro óptico.

Hay que indicar que el índice de refracción y la dispersión del vidrio dependen del tratamiento térmico previo. Todos los valores numéricos dados son válidos para una velocidad de enfriamiento de 0,5 %/min dentro del intervalo crítico de transformación (fig. 4).

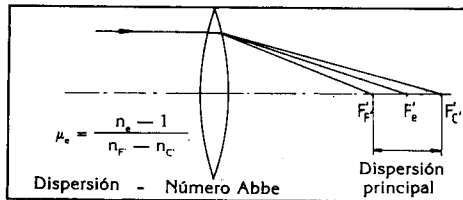


Fig. 4. Dispersión

Reflexión, absorción, transmisión

La porción de radiación que es reflejada en una superficie óptica depende de la diferencia entre los índices de refracción de los medios limitantes vidrio/aire. Como factor de reflexión se conoce a la relación entre la cantidad de flujo reflejada por la superficie y el flujo incidente.

Para una incidencia perpendicular o casi perpendicular viene dado por el factor de Fresnel:

$$\sigma = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2}$$

Ejemplo: Para una superficie de vidrio crown ($n_e = 1.525$) en aire, el factor de reflexión es de:

$$\sigma = \left(\frac{1.525 - 1}{1.525 + 1} \right)^2 \text{ esto corresponde a un } \sigma = 4,3 \%$$

En general es válido que cuanto mayor es el índice de refracción, mayores serán los reflejos en la superficie del vidrio.

La radiación absorbida por el vidrio se transforma principalmente en calor, una parte muy pequeña en fluorescencia o también en reacción química. En el vidrio crown incoloro la absorción es de hasta un 1 %. Añadiendo ciertos agentes colorantes en la masa vítrea o por deposición de una capa de color se obtienen las coloraciones deseadas (fig. 5).

El factor de transmisión T (%) es la relación entre el flujo radiante transmitido y el incidente. Depende de las pérdidas por reflexión y absorción, por tanto depende tam-

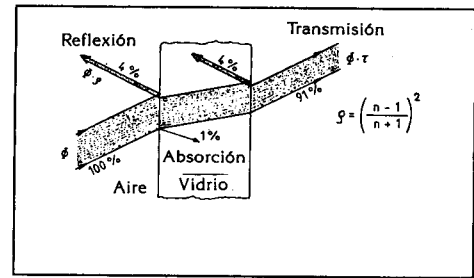


Fig. 5. Reflexión absorción y transmisión.

bién del espesor de la lente. Para lentes oftálmicas se utiliza una iluminación normalizada D_{65} y un espesor de lente de 2 mm.

La suma del flujo radiante reflejado, absorbido y transmitido es igual al flujo incidente.

Resumiendo:

Luz perdida: Reflexión + Absorción

Pérdida de luz + Transmisión = 1 o 100 %

Para un vidrio crown B270 sin tratamiento superficial (capas antirreflejantes), inmersa en aire, se obtienen los siguientes valores:

Flujo radiante incidente	100 %
Reflexión en la 1ª superficie	4 %
Absorción en la lente	1 %
Pérdida de luz	09 %
Reflexión en la 2ª superficie	4 %
Transmisión	91 %

Propiedades térmicas del vidrio

Dilatación térmica

Como otros materiales, también el vidrio varía su volumen con la temperatura. Generalmente se utiliza la variación relativa de la longitud $\Delta l/l$ en mm/m

La media de la dilatación se da con el coeficiente de dilatación lineal medio α para un intervalo de temperatura de 20° a 300°C. En este intervalo existe una relación casi lineal entre la dilatación y la temperatura.

En el proceso de fabricación del vidrio, este valor es sumamente importante ya que es determinante de la existencia de tensiones en el vidrio terminado.

Ejemplo: Un vidrio crown con un diámetro $\phi = 60$ mm y un coeficiente de dilatación $\alpha = 9,3 \cdot 10^{-6}$ grd se calienta de 20° a 220°C. ¿Cuál es su variación longitudinal?

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\Delta l = 60 \text{ mm} \cdot 9,3 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{grd}} \cdot (220 - 20) \text{ grd}$$

$$\Delta l = 0,1116 \text{ mm o redondeado } 11/100 \text{ mm}$$

Viscosidad

El material amorfo vidrio tiene un amplio intervalo de temperatura en el que tiene lugar el cambio del estado sólido al estado líquido. La viscosidad es una magnitud importante para la conformabilidad y el comportamiento fluido del vidrio. Es una medida de la fuerza necesaria para que una lámina de vidrio se deslice sobre otra y nos determina la velocidad de conformado del vidrio.

Su unidad es el dPas (deci-Pascal-segundo) = 0,1 N/s/m². (Newton/metro-segundo). Como en muchos textos todavía se encuentra la antigua unidad Poise, conviene dar la equivalencia:

$$1 \text{ Poise} = 1 \text{ dPas}$$

Para una mejor comprensión de esta magnitud, veamos una comparación entre elementos cotidianos y su viscosidad:

A una temperatura ambiente de 20°C, el agua tiene una viscosidad de 0,01 dPas, el aceite de cocina de 100 dPas y la miel alrededor de 10.000 dPas (tabla 1).

Viscosidad en dPas	Temperatura correspondiente	Significado para la industria del vidrio
10 ²	Afinado	Masa fundida
10 ^{2,5}	T* de fusión	
10 ^{4,2}	T* de trabajo (Punto de hundimiento)	
10 ⁵	T* de fluidez	Trabajado Conformado
10 ^{7,6}	T* de Littleton (Pto. de ablandamiento)	
10 ¹³	Pto. superior de recocido	Intervalo de enfriamiento
10 ^{13,3}	T* de transformación	
10 ^{14,5}	T* inferior de recocido	
10 ¹⁹	Vidrio de la T* ambiente	tensiones!

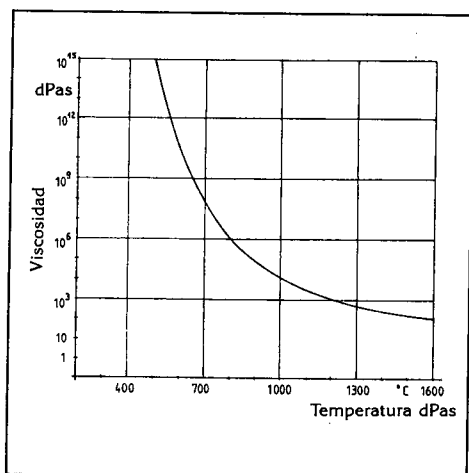


Fig. 6. Curva de viscosidad/temperatura del vidrio crown B270

Soldadura por fusión de lentes oftálmicas

Las lentes oftálmicas multifocales se pueden obtener soldando una pieza para visión próxima de mayor índice de refracción en una lente para visión lejana. Los tipos de vidrio utilizados para tal fin deben cumplir unas determinadas características de dilatación, viscosidad, transformación y cristalización en el intervalo de fusión. Una soldadura libre de tensiones sólo es posible si la contracción de ambos vidrios, entre la temperatura de enfriamiento a partir de la que empieza a solidificarse y la temperatura ambiente de 20°C es casi la misma.

Propiedades mecánicas del vidrio

Densidad

El peso de una gafa lo determina principalmente el peso de las lentes que depende de su volumen y densidad. El vidrio crown tiene una densidad de $\delta=2,55 \text{ g/cm}^3$; los vidrios de elevado índice de refracción tienen $\delta=3,0 \text{ g/cm}^3$ y los vidrios para la pieza de visión de los multifocales tienen δ hasta $3,8 \text{ g/cm}^3$.

Se han desarrollado actualmente materiales de vidrio con menor densidad, por ejemplo: el Hi-Crown con $\delta=2,64 \text{ g/cm}^3$ y índice mayor que el del vidrio crown.

Elasticidad y resistencia mecánica

La elasticidad del vidrio a la temperatura ambiente es pequeña, siendo su valor, aproximadamente, 1/4 de la elasticidad del acero.

La resistencia a la tracción del vidrio también es baja, siendo para piezas de vidrio para la construcción de 7 N/mm² y pudiendo alcanzar, con un buen pulido de la superficie, como máximo valores de 500 N/mm². La resistencia a la compresión es bastante mayor, alcanzando en todos los tipos de vidrio al menos 10 veces el valor de la resistencia a la tracción.

Por experiencia se sabe que el vidrio se rompe con un repentino cambio de temperatura. Este efecto tiene varios motivos: la mala conductividad térmica del calor, la relativamente alta dilatación con la temperatura y la mediocre resistencia a la tracción. Sobre todo en el caso de un cambio brusco de caliente a frío, los vidrios se rompen fácilmente. Cuando la capa externa caliente se enfría, intenta contraerse, pero el interior todavía caliente se lo impide por lo que la capa externa sufre una tracción a la que a menudo no puede resistir.

Al revés, es bastante menos peligroso un rápido calentamiento porque la superficie del vidrio caliente puede resistir mucho mejor estas presiones.

Tensiones y birrefringencia

Las propiedades ópticas del vidrio son iguales en todas las direcciones, es decir, el vidrio es un material isótropo. Las tensiones, sea cual sea su procedencia, rompen la isotropía y producen birrefringencia.

La anisotropía es medible y se expresa generalmente como una diferencia de cambio óptico en nm/cm.

La constante elástica de un tipo de vidrio nos indica la diferencia de camino óptico en nm/cm, cuando sufre una presión de 1 bar (10 N/cm²).

Propiedades químicas del vidrio

El vidrio óptico posee una muy buena resistencia al agua, soluciones salinas, ácidos y sustancias orgánicas.

Los álcalis altamente concentrados y el ácido fluorhídrico lo atacan visiblemente, sobre todo en caliente y en tiempos de exposición altos.

La resistencia hidrolítica se determina según la norma DIN 12.111 que divide a los vidrios en 5 clases diferentes. Los vidrios del grupo 1 son resistentes al agua y los del grupo 5 son los que más se corroen por ella.

Esta norma DIN 12.111 también describe la resistencia del vidrio a los ácidos dividiéndolos en 3 grupos: resistentes a los ácidos, débilmente solubles en ellos y fuertemente solubles.

Para el fabricante de lentes oftálmicas son comunes, además, otras clasificaciones según su tendencia al manchado, resistencia a los complejos procesos de lavado, etc.

Fabricación del vidrio

Materias primas para la fabricación del vidrio

Las materias primas para la fabricación del vidrio deben estar cuidadosamente seleccionadas, ser de máxima pureza y estar muy bien mezcladas. Forman la así llamada «mezcla» que posteriormente se añade a cierta cantidad de fragmentos de vidrio molido para formar la masa fundida.

Todos los componentes esenciales para la formación del vidrio son conocidos desde hace miles de años, como demuestra la receta de vidrio más antigua que se conserva en la biblioteca de láminas de arcilla del rey asirio Ashurbanipal (668-626 a JC). Dice: «Toma 60 partes de arena,

180 partes de ceniza de algas, 5 partes de creta (yeso) y obtienes vidrio». El pequeño contenido en arena hace pensar en problemas para alcanzar la elevada temperatura de fusión necesaria. La proporción de los componentes de la mezcla estándar usual viene dada entre paréntesis.

Se necesita:

- Formador de red (+70 %)
- Fundente (+20 %)
- Estabilizador (=endurecedor + 10 %)
- Aditivos

1. Formador de red

El dióxido de silicio (SiO_2) en forma de arena de cuarzo es el formador de red más importante. Pocas arenas son aptas para la fabricación de vidrio ya que deben tener unas determinadas condiciones de granulometría y pureza.

Un contenido en óxido de hierro (Fe_2O_3) mayor al 0,01 % da al vidrio un evidente color verdoso. Los contenidos en otros óxidos colorantes como cromo, cobre, níquel o cobalto deben ser todavía más pequeños: menos del 0,001 %!

Para cumplir todas las condiciones necesarias para la formación de un vidrio óptico, antes se someten las arenas a procesos de lavado químico.

Otros óxidos formadores de red importantes son:

Trióxido de boro (B_2O_3) y pentaóxido de fósforo (P_2O_5).

2. Fundentes

Para disminuir el elevado punto de fusión de la arena, aproximadamente 1.700°C , facilitar la elaboración industrial del vidrio y hacerla más económica, se utilizan los fundentes. Suelen añadirse en forma de sosa (carbonato sódico: Na_2CO_3) y potasa (carbonato potásico: K_2CO_3).

3. Estabilizadores

La arena y los fundentes dan vidrio soluble. La estabilidad química, resistencia mecánica y dureza necesarias la obtiene el vidrio por la adición del cal (CaO).

Para la solidificación de la estructura de red son importantes los óxidos de aluminio (alumina: Al_2O_3), de zinc (ZnO) y de magnesio (MgO).

4. Aditivos

Especial influencia sobre las propiedades de transmisión, refracción, dispersión y resistencia química en los vidrios ópticos tienen:

- Óxido de plomo
- Óxido de bario
- Óxido de litio
- Óxidos de «tierras raras» (lantánidos)

Estos aditivos permiten obtener exactamente el índice de refracción deseado del vidrio.

Otros aditivos, más utilizados para otros tipos de vidrios, son:

- Colorantes.
- Opalizantes
- Fragmentos de vidrio.

Los colorantes son compuestos de los elementos de transición. Los iones metálicos dan las siguientes coloraciones:

Cobre (Cu^{++}):	azul débil
Cromo (Cr^{3+}):	verde, así como Cr^{6+} : amarillo
Manganeso (Mn^{3+})	violeta
Cobalto (Co^{++})	azul intenso
Vanadio (V^{3+})	verde en vidrio de borosilicato marrón en vidrio de boro.
Titanio (Ti^{3+})	violeta
Neodimio (Nd^{3+})	rojo-violeta
Prasedomino (Pr^{3+})	verde débil

Los agentes opalizantes, como la fluorita (CaF_2), se depositan en la masa vítrea en forma de pequeñas partículas cristalinas. Este tipo de vidrio se utiliza en la construcción y en la industria de cuerpos luminosos.

Los fragmentos de vidrio no son una materia prima, pero son imprescindibles para la constitución de la masa fundida. Los fragmentos actúan como fundentes y aceleran la fusión de la mezcla.

Fusión del vidrio

La fusión del vidrio se produce en tres pasos:

- Proceso de fusión
- Afinado
- Acondicionado y enfriado

1. Proceso de fusión

La mezcla vitrificable (arena, sosa, cal) necesita, debido a su mala conductividad térmica, algunas horas para alcanzar aproximadamente los 1.200°C . Durante este intervalo de tiempo tienen lugar muchas reacciones químico-físicas y al mismo tiempo se forman grandes cantidades de gas por la descomposición de los carbonatos, hidratos etc. De 171 kg, de sosa se forman, por ejemplo, 100 kg de Na_2O y 71 kg, de CO_2 (ácido carbónico).

2. Afinado

La masa fundida debe ser ahora completamente homogénea, es decir, todos los componentes deben estar completamente disueltos, bien mezclados y todas las burbujas de gas eliminadas. Se aumenta la temperatura aproximadamente 1.750°C , se remueve y se añaden afines, como arsénico (As_2O_3) o sulfato de sodio (Na_2SO_4) que fácilmente desprenden oxígeno. Las burbujas de gas que ascienden arrastran consigo otros gases, aumentan su tamaño y ascienden, así, más rápidamente a la superficie. El vidrio óptico se trabaja generalmente en agitadores para obtener la máxima homogeneidad.

3. Acondicionado y enfriado

En la fase de acondicionado se eliminan las últimas burbujas de gas de la masa fundida, mientras que la temperatura desciende lentamente hasta aproximadamente $900-1.200^\circ\text{C}$. Después se vierte el vidrio en cubas precalentadas.

En enfriado puede durar, según el tipo de vidrio, semanas y hasta meses. El tipo de proceso de enfriado determina además el índice de refracción: «los últimos números detrás de la coma». A menudo es posible y habitual, durante este proceso, una precisa corrección del índice de refracción y de la dispersión.

Para la fusión del vidrio se utilizan hornos de fusión cuya construcción se parece mucho a la de un horno de acero. Como recipientes para la masa fundida se utilizan las llamadas cubas, que están construidas con materiales refractarios de alta calidad, casi siempre una mezcla de arcilla chamota.

El vidrio óptico se funde en pequeñas cubas para una cantidad de 100 a 1.000 kg, las cantidades más pequeñas se funden en crisoles de plástico o cuarzo.

El vidrio no óptico se trabaja en forma continua en enormes cubas siendo la producción diaria de una de ellas de hasta 400 T!

Este tipo de cubas continuas puede medir hasta 40 metros de largo y 6 de ancho, su producción está totalmente automatizada y se trabajan 3 ciclos diarios. Las instalaciones gigantes de vidrio flotado (*float-glass*) contienen hasta 2.500 T. de vidrio fundido en 100 m de longitud. Los hornos más pequeños se llenan y operan durante el día dejando lugar la fusión por la noche.

En el siglo XVII las fábricas de vidrio se construían siempre en regiones con muchos bosques, debido a que consumían leña. Además se podía obtener la imprescindible potasa (=carbonato de potasio) por lixiviación de las cenizas de madera en grandes recipientes.

Hoy en día, los hornos de fusión se calientan con fuel gas o energía eléctrica. El tiempo de vida media de un horno es de 5 a 8 años.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó, de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrasa.

Vidrio

Defectos de fusión

Existen defectos que son visibles en el vidrio bruto terminado, y que descartan su utilización para fines ópticos:

- Impurezas
- Estrías
- Burbujas
- Tensiones

Impurezas

Hay vidrios que contienen granos no transparentes de distintos tamaños que pueden haberse desprendido de la cuba o haberse formado por una conglomeración de las materias primas.

Son típicos los llamados «núcleos de desvitrificación». La desvitrificación tiene lugar cuando hay un error en el proceso de enfriamiento y una parte de la masa fundida no se solidifica en masa vítrea transparente sino en la forma cristalina. La tendencia a la desvitrificación es distinta en los diferentes tipos de vidrios.

Estrías

Las estrías son zonas del vidrio de distinta composición que el resto de la masa (inhomogeneidades). Se forman principalmente por un mezclado incompleto de las materias primas. Debido a su distinta composición química, estas zonas presentan un comportamiento óptico distinto, sobre todo en la refracción de la luz.

Burbujas

Las burbujas en el vidrio se forman debido a un afinado insuficiente de la masa fundida. La mezcla de las materias primas se compone de muchos pequeños trozos entre los cuales hay aire. Durante el proceso de fusión, las burbujas de gas que ascienden ayudan a mejorar la mezcla de la masa de vidrio, pero si no se desprenden quedan inmersas en la masa por lo que durante la fase de afinado deben ser totalmente eliminadas.

Tensiones

Las tensiones también hacen inservible al vidrio para fines ópticos. Se forman en el caso de un mal enfriamiento, normalmente demasiado rápido. El vidrio se solidifica, partiendo de la superficie, en distintas capas. Una capa externa ya enfriada se contrae mientras la siguiente capa, todavía líquida le opone resistencia. De esta manera se forman en la masa vítrea distintas fuerzas de tracción y compresión. Con un enfriamiento lento y adecuado al tipo de vidrio, es posible compensar las tensiones que surgen en el vidrio.

El vidrio con tensiones es birrefringente. Esta propiedad se utiliza para comprobar la existencia de tensiones mediante el polariscopio.

El vidrio fabricado intencionadamente con tensiones tiene una elevada resistencia mecánica (vidrio endurecido) por lo que se utiliza como vidrio de seguridad: es muy resistente a los golpes y en caso de rotura se rompe en pequeños trozos inócuos.

Proceso de fabricación de lentes para gafas

El proceso de fabricación de lentes de vidrio para gafas se compone de tres etapas:

- Fabricación de las lentes prensadas.
- Fresado o desgaste de las superficies.
- Pulido.

Fabricación de lentes prensadas

En la fabricación en serie actual de las lentes para gafas, primero se obtienen lentes prensadas directamente por moldeo de la masa fundida viscosa. De forma totalmente automática, y a través de dosificadores, se obtienen dos tipos de moldes: para lentes positivas y para lentes negativas (fig. 1).

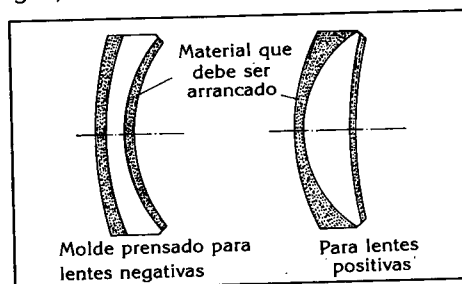


Fig. 1. En el método antiguo se obtenían primero planchas de vidrio de 5 a 20 mm de espesor. Por serrado o corte se obtenían piezas cuadradas de un tamaño similar al de la lente, que luego eran prensadas en moldes de acero. Este método sólo se utiliza hoy en día para lentes ópticas en el caso de un número reducido de piezas.

Fresado o desbaste de las superficies

Las superficies ópticas se tallan con muelas de diamante (anillos o discos cuya geometría no coincide con la de la superficie a tallar). Primero se talla con una muela de grano grueso (desbaste) y luego con una de grano más fino (afino). El proceso es similar al realizado en el taller de óptica cuando se desgasta el borde de la lente para montarla en una montura.

Las superficies talladas son mates y una vez limpias pueden ser pulidas.

Pulido

Las lentes talladas se pegan o bloquean con metal a un soporte. El molde para el pulido, cuya geometría coincide con la de la superficie a pulir, está cubierto por un fieltro y el pulido de las superficies se efectúa con la ayuda de agentes pulidores sintéticos.

A continuación se limpian las lentes con un baño de ultrasonidos y se efectúa el control final en el que se comprueba que la lente no tenga defectos y que esté dentro de las tolerancias ópticas.

Tolerancias del material en lentes oftálmicas

La norma DIN 58.203 determina las tolerancias permitidas. El control visual subjetivo se realiza por un examinador experimentado mediante el sistema de control que se muestra en la figura 2. Se observa en el límite claro-oscuro sin ayuda de sistemas de aumento.

Esta forma de control sería excesiva para un óptico inexperiencedado que no tiene posibilidad de comparación pero el controlador industrial experimentado, que a diario detecta muchos defectos del vidrio, puede separar con gran seguridad los defectos tolerables de los intolerables.

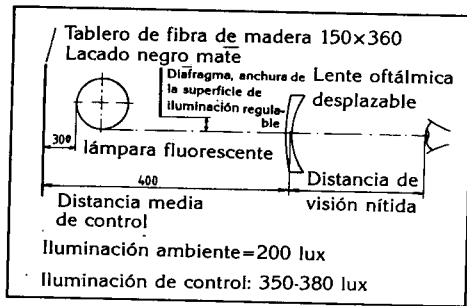


Fig. 2. Dispositivo de control de lentes oftálmicas.

Dentro de una zona de 30 mm, centrada en el centro óptico O, las lentes oftálmicas no deben tener burbujas, estrías, inclusiones, opacidades, rayas, agujeros, impresiones u otros defectos del material o del acabado que sean visibles a simple vista.

Fuera de esta zona son tolerables algunos de estos defectos.

Calidad de la zona periférica: Son tolerables algunas lascas. El diámetro geométrico de la zona utilizable puede ser hasta 1 mm menor al diámetro dado. (fig. 3).

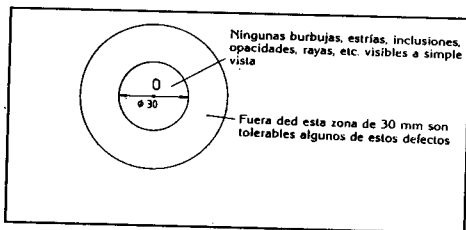


Fig. 3. Defectos del material y de la superficie.

Tolerancias ópticas

El fabricante puede trabajar con determinadas tolerancias ópticas, es decir, con una cierta variación de la potencia de vértice posterior deseada. Brevemente vamos a comentar las tolerancias más importantes para las lentes esféricas y cilíndricas.

La tabla I de tolerancias es válida para lentes monofocales sin efecto prismático en el punto de referencia.

Todas las tolerancias permitidas se refieren al centro óptico O de la lente.

Tolerancias esféricas

Tabla I

Potencia de vértice posterior deseada (dpt)	Tolerancia permitida (dpt)	
	esférica	astigmática
hasta $\pm 3,00$	$\pm 0,06$	0,06
$\pm 3,25$ hasta $\pm 6,00$	$\pm 0,09$	
$\pm 6,25$ hasta $\pm 9,00$	$\pm 0,12$	
$\pm 9,27$ hasta $\pm 12,00$	$\pm 0,18$	
más de $\pm 12,00$	$\pm 0,25$	
Potencia esférica: $\frac{S_1' + S_2'}{2}$; Potencia cilíndrica: $S_2' - S_1'$		

Ejemplo 1:

Lente esférica + 7,00 D.

Valores medidos: $s_1' = 6,91$ D; $s_2' = 6,91$ D.

Se tomaron dos medidas de potencia de vértice posterior

Potencia esférica: $\frac{6,91 + 6,97}{2} = 6,94$: está dentro de los límites

de tolerancia permitida, que van de +6,88 D hasta +7,12 D.

Diferencia astigmática: $+6,97 - (+6,91) = 0,06$ D: tolerable.

Ejemplo 2:

Para otra lente esférica de +7,00 D se obtienen las mediciones: $s_1' = 6,91$ D; $s_2' = 7,05$ D.

El cálculo de la potencia esférica es de $s' = +6,98$ D, lo que indica que está dentro de tolerancia. La diferencia astigmática en cambio, es, con un valor de 0.14 D, demasiado grande.

La medición de la diferencia astigmática es muy difícil con un frontofocómetro convencional en el que se pueden determinar estas diferencias pero no medirlas. Sólo en frontofocómetros con sistema de medida electrónico («Ler Analyser») pueden ser medidas estas tolerancias. Hoy en día la experiencia en la fabricación es tan grande que ya casi no llegan al óptico lentes fuera de los límites de tolerancia.

Lentes cilíndricas

Para ambos meridianos son válidas las tolerancias esféricas permitidas que se dan en la tabla 1. Además son válidas, para la potencia cilíndrica, las tolerancias dadas en la fig. 4. En ella, la potencia de vértice posterior deseada es la mayor potencia absoluta de la lente.

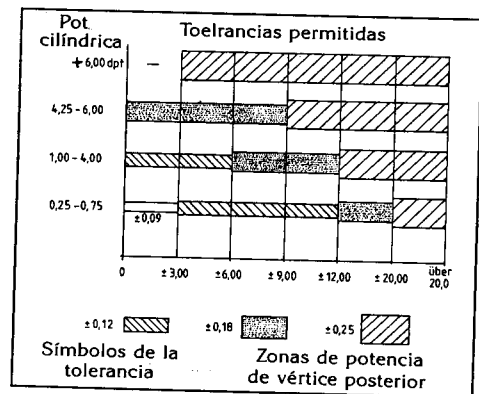


Fig. 4. Tolerancia permitida para potencias cilíndricas.

Ejemplo 1:

Tolerancias para la lente: esf. $\pm 4,50$, cil. +2,00

$HW_1 = +4,50$ D esféricas; Tolerancia: $\pm \pm 0,09$

$HW_{1,mínimo} = +4,41$

$HW_{1,máximo} = 4,59$ D*

$HW_2 = +6,50$ D esféricas; Tolerancia $\pm 0,12 \rightarrow HW_{2,mínimo} = 6,38$

cil. +2,00 D; Tolerancia cilíndrica = $\pm 0,12 \rightarrow cil_{min} = 1,88$,

$cil_{max} = +2,12$ D.

Si ahora se combinan solamente los valores mínimos y máximos de un meridiano, ya se obtienen 4 ejemplos distintos:

esf. +4,41, cil. +1,88 $\rightarrow HW_2 = +6,29 \rightarrow$ fuera de tolerancia

esf. +4,14 cil. +2,12 $\rightarrow HW_2 = +6,53 \rightarrow$ dentro de la tolerancia

esf. +4,59, cil. +1,88 $\rightarrow HW_2 = +6,47 \rightarrow$ dentro de la tolerancia

esf. +4,59 cil. + 2,12 $\rightarrow HW_2 = +6,71 \rightarrow$ fuera de la tolerancia

Resultado:

La tolerancia cilíndrica puede estar siempre dentro de la tolerancia permitida pero en combinación con la potencia esférica ya está en dos casos fuera de la tolerancia esférica permitida. Por tanto es necesario comprobar en todos los casos no sólo la tolerancia cilíndrica sino también su efecto en combinación con todo el conjunto esfero-cilíndrico.

*NOTA: HW_1 y HW_2 son las potencias de vértice posterior en los dos meridianos principales.

Ejemplo 2:

Tolerancia de fabricación de la lente esf. —10,00, cil.—3,00
 $HW_1 = -10,0$ D. → tolerancia $\pm 0,18 \rightarrow HW_1, KI = 9,82$
 $HW_2 = -13,0$ → tolerancia $\pm 0,25 \rightarrow HW_2, KI = -12,75$
 cil.—3,00 D → tolerancia cilíndrica $\pm 0,25 \rightarrow cil_{kl} = -2,75$

La combinación del primer meridiano con un cilindro dentro de la tolerancia permitida da:

esf.—9,82, cil. —2,75 → $HW_1 = -12,57$ D → fuera de la tolerancia

esf.—9,82, cil —3,25 → $HW_1 = -13,07$ D → dentro de la tolerancia

esf. —10,18 cil —2,75 → $HW_1 = -12,93$ D → dentro de la tolerancia

esf —10,18, cil —3,25 → $HW_1 = -13,43$ D → fuera de la tolerancia

Centrado

La posición del centro óptico puede ser distinta de la del centro geométrico de la lente (o no precisa estar exactamente en el centro de la lente!). La tabla de tolerancia para la posición del centro óptico se divide en tres intervalos de potencias:

1. Para lentes con una potencia de vértice posterior deseada de 0,00 a $\pm 0,25$: efecto prismático tolerado en el punto de referencia de 0,12 cm/m
2. En el intervalo de potencia de $\pm 0,25$ a $\pm 2,00$ D: distancia entre el centro óptico y el centro geométrico tolerada de 3 mm
3. Para potencia mayor de $\pm 2,00$ D: distancia tolerada de 2 mm.

Materiales para lentes oftálmicas

Tecnológicamente se diferencian:

- Lentes de vidrio crown B270
- Lentes de vidrio de alto índice de refracción.
- Lentes fotocromáticas
- Vidrios para lentillas de visión próxima en bifocales
- Lentes orgánicas (ver capítulo sobre materiales sintéticos)

Tabla II. Datos óptico-técnicos de los materiales para lentes oftálmicas más importantes

Material	Abreviatura	Índice de refracción principal n_e	Número de Abbe	Densidad g/cm^3	Límite de transmisión (UV 50%) nm
Vidrio crown	B270	1,525	58,6	2,55	312
Flint denso	SF 64	1,706	30,6	3,00	361
Flint de bario	BaSF 64	1,706	40,2	3,00	362
High crown	HC 45	1,604	44,1	2,60	350
Composita	CS	1,509	57,9	1,48	—
CR39		1,502	58,3	1,33	380
Polycarbonato	PC	1,585	30,0	1,20	390

Vidrio Crown B270

El vidrio crown B270 es, todavía, el material estándar para la fabricación de lentes «blancas» (incoloras). Presentan una elevada transparencia y pureza óptica con buena estabilidad a la forma, elevada dureza de la superficie, así como una buena resistencia frente a las influencias climatológicas, a los ácidos y a las bases.

Ventajas: Mecánicamente muy estable, elevada dureza de la superficie, baja dispersión cromática, tratable al vapor, baja densidad.

Desventajas: Índice de refracción relativamente bajo, mal conductor térmico (tendencia a empañarse), peligro de rotura en pequeños pedazos peligrosos.

No es necesario un gran talento profético, para augurar a medio plazo la utilización de este material sólo en lentes para gafas económicas. Con una gran probabilidad será

sustituido por el high-crown, primero en las lentes de potencia elevada y luego para todo tipo de lentes.

Vidrio de elevado índice de refracción

Vidrio flint denso SF64 y flint de bario BaSF64

El vidrio SF64, que contiene óxido de titanio, sustituyó, aproximadamente en el año 1975, al vidrio flint de plomo, más antiguo y demasiado pesado. Aunque el SF64 tenía el alto índice de refracción deseado ($n=1,70$), su bajo número de Abbe, $\mu=30$, motivaba la existencia de molestos halos de colores.

Aproximadamente en 1983, el SF64 fue sustituido por el vidrio flint de bario BaSF64, que manteniendo un mismo índice de refracción $n=1,70$, presenta un número de Abbe más alto $\mu=40$ que reduce la existencia de halos coloreados. Este vidrio todavía se usa hoy en día pero seguramente será utilizado a largo plazo sólo para lentes para elevadas miopías.

La ventaja de los vidrios de alto índice de refracción es que permiten unas bases más planas, lo que hace posible obtener, también en el caso de potencias elevadas, lentes más delgadas y más estéticas. Pero la ventaja de un menor volumen, aproximadamente el 40 %, es «compensado» en algunos casos por una mayor densidad: la ventaja en el peso es de aproximadamente un 20 %.

También es verdad, que tiene un mayor factor de reflexión que el vidrio crown normal, pero por otra parte el efecto antirreflejante de una capa de $\lambda/4$ es mayor cuanto mayor sea el índice de refracción. Que cumplen mejor la condición de amplitudes se observa en la práctica, en que una monocapa sobre un vidrio de alto índice de refracción tiene como mínimo el mismo efecto que una multicapa sobre vidrio crown B270.

High-crown 45

En el futuro el material estándar será seguramente el HC45, un vidrio desarrollado por la empresa Schott en el año 1984. Su índice de refracción, $n=1,60$, hace posible espesores de borde y de centro menores que en el vidrio crown; el número de Abbe $\mu=44,1$ no significa prácticamente ningún empeoramiento frente a los casi inapreciables halos de colores del B270. El progreso decisivo de la tecnología de este vidrio está en su baja densidad, tan sólo 2,64 g/cm^3 . La suma de las ventajas, así como la posición en el mercado de su creador harán que este material ocupe un importante lugar.

Vidrios fotocromáticos

Los vidrios fotocromáticos (o fototrópicos) se oscurecen bajo la influencia de las radiaciones ultravioletas (UV) o de luz visible de longitud de onda corta (λ de 300 a 430 nm). Si la incidencia de la radiación se interrumpe, el vidrio vuelve a aclararse en un tiempo corto. Según un modelo, la radiación de longitud de onda corta de mayor energía, convierten la sal de plata transparente en plata metálica, que absorbe la luz. Este proceso es dinámico, es decir, siempre son nuevas partículas de plata las que son estimuladas y transformadas, mientras otras partículas, a las que no llega la radiación UV, vuelven a su estado iónico.

Las materias primas para la fabricación de vidrios fotocromáticos son las mismas que para el vidrio crown, con sólo una pequeña variación: junto a los componentes usuales, este material también contiene ácido de boro por lo que al material final se le llama vidrio borosilicato aunque sus datos ópticos apenas difieren de los del vidrio crown.

Como elementos productores del efecto fotocromático se añaden sales de plata en forma de haluros de plata (cloruro y bromuro de plata). Su tamaño es de 5 a 20 nm y su concentración es, aproximadamente de 10^{15} por cm^3 de material.

Pero para obtener la propiedad fotocromática es necesario un tratamiento adicional a una temperatura aproximada de 600°C. (Un control programado de la temperatura durante el proceso de calentamiento y enfriamiento forman los centros de reacción. El tipo y la duración de la temperatura determinan el color, el oscurecimiento y la velocidad de reacción. Antes de alcanzar el grado de oscurecimiento normal de la lente fotocromática, es necesario que el vidrio recorra alguna veces el ciclo claro-oscuro debiéndose avisar al usuario de ello.

El desarrollo tecnológico del vidrio fotocromático en estos últimos años ha ido orientado a aumentar la velocidad de reacción del ciclo claro-oscuro y a aumentar el intervalo entre los límites de mínima y máxima transmisión. Ambos objetivos se han logrado gracias a intensos trabajos de investigación: el proceso de oscurecimiento ya tiene lugar después de pocos segundos de tiempo de exposición a la radiación mientras que la regeneración es algo más lenta. Hoy en día es posible un oscurecimiento del 60 % con un intervalo de reducción del 15 al 75 % siendo apropiado este tipo de vidrio también para conductores durante el crepúsculo (Norma DIN 58.217).

Para obtener un coloreado uniforme, independiente del espesor, en lentes de elevada potencia, se desarrolló un método consistente en pegar una capa de material fotocromático sobre un vidrio base incoloro. El espesor de esta capa es de 1,3 mm, suficiente para obtener un coloreado superficial uniforme.

Las magnitudes que definen el proceso fotocromático son:

- Tipo de la fuente radiante: Los distintos tipos de vidrio fotocromático reaccionan diferente frente a la radiación solar o a la radiación de una lámpara fluorescente.
- Temperatura del vidrio: Los vidrios fotocromáticos se oscurecen más a temperaturas bajas.
- Intensidad y duración de la radiación.

Para obtener valores comparables, se define como transmisión saturada, aquella transmisión que se obtiene después de 15 minutos de exposición. Después se mide la transmisión como de costumbre, a 555 nm y 2 mm de espesor de vidrio (fig. 5).

Fabricación de lentes multifocales

Vidrios para piezas de visión próxima en lentes multifocales

Las lentes bi- o trifocales se obtienen por la fusión de vidrios de mayor índice de refracción en el alojamiento practicado en la lente mineral base para visión lejana. Hacen posible la visión nítida a dos o tres distancias cuando, con la edad, se pierde la capacidad de acomodación.

Sin profundizar en los problemas ópticos, describiremos aquí los datos técnicos y los procesos de fabricación.

La potencia de la zona para visión próxima se puede obtener de distintas maneras:

- En una zona de la superficie interior cóncava se talla una potencia menos negativa que implica una potencia total en esta zona más positiva.
- A la superficie exterior convexa se le da, en la zona de lejos, una forma positiva más fuerte.
- En el vidrio base se funde una lente adicional de mayor índice de refracción. Se puede hacer en la superficie externa o en la interna de la lente.

La primera posibilidad, el tallado de una lente doble con una línea divisoria es, desde el punto de vista óptico y tecnológico, una buena solución, pero, sobre todo por motivos estéticos, estas lentes están prácticamente en desuso.

La segunda posibilidad se utiliza generalmente para la fabricación por moldeo de lentes multifocales con materiales orgánicos: poseen en la superficie exterior la forma de la pieza de visión próxima pero es imposible manipular posteriormente esta superficie por lo que debe ser correcta en un sólo proceso de moldeo.

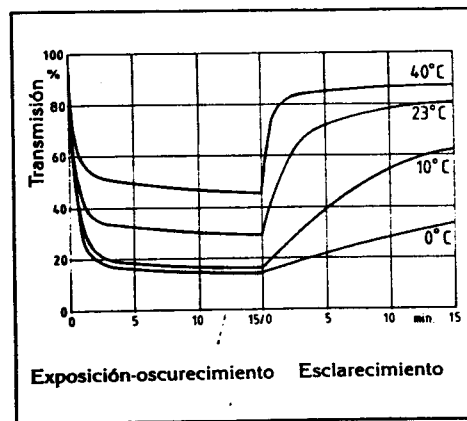


Fig. 5. Influencia de la temperatura sobre el proceso fotocromático.

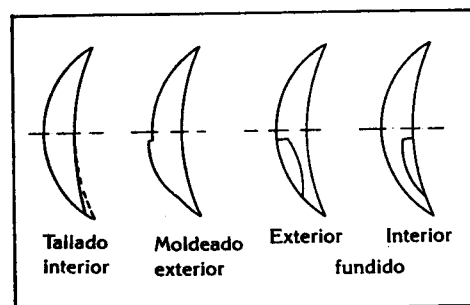


Fig. 6. Tipos de lentes multifocales.

Fabricación de lentes multifocales de vidrio mineral

La lente adicional puede fundirse en la superficie interior o exterior de la lente base. La pieza para visión próxima fundida en la superficie exterior tendrá forma de lente biconvexa mientras que si se funde en la cara interior tendrá forma de lente menisco. Esta última forma es ópticamente más ventajosa pero también es tecnológicamente más difícil. La fusión en el lado cóncavo sólo la realiza un fabricante (en Alemania) mientras que internacionalmente está extendida la fusión en la superficie convexa (fusión exterior).

Para la fabricación en la superficie convexa se necesita un bloque de vidrio base para la lente de lejos en el que se talla un alojamiento en la superficie anterior.

La lente adicional se fabrica normalmente en vidrio flint de bario con la forma de lentilla de cerca y el borde finamente pulido. Sobre esta pieza se coloca cuidadosamente una pequeña pieza complementaria del mismo material que la lente base, normalmente crown. Ambas piezas forman el llamado botón (button). Se colocan sobre una plancha de cerámica, se rodean con un anillo, se tapan, se les coloca un peso y colocan en el horno para que fundan formando una sola pieza. Al botón, una vez unido, se le talla en la superficie exterior exactamente la misma curvatura que la del alojamiento practicado en la lente base para visión de lejos.

La línea de separación no produce apenas reflejos porque no se pule y además se le da una inclinación en dirección a la línea de fijación. Tampoco es muy visible, ni para el usuario ni para un observador externo.

Para la fabricación de lentes multifocales según este método son importantes ciertas magnitudes térmicas. Las piezas para visión próxima deben tener una dilatación térmica y una relación viscosidad-temperatura parecidas a las del vidrio base para asegurar una fusión lo más libre de tensiones posible.

Tecnología para Ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Vidrio

Fabricación de lentes multifocales con la pieza de visión próxima en la superficie externa

El vidrio base y la pastilla («button») se fusionan a una temperatura de aproximadamente 700 a 750°C. De esta manera, la pastilla se hunde por su propio peso en el material base. Este es un momento crítico del proceso de fabricación porque las superficies de contacto se pueden deformar.

La pieza complementaria, una vez fundida, es completamente invisible por ser del mismo material que el vidrio base.

Terminado el proceso de fundido, se desbasta el material de la pastilla que sobresale. También este proceso debe ser controlado con precisión ya que si se rebaja en exceso o demasiado poco la superficie anterior, se varía la geometría del conjunto, es decir, las medidas de la pieza de visión próxima. La tolerancia en este proceso es del orden de la centésima de milímetro.

Las ventajas de las lentes con la pieza de visión próxima en la superficie exterior son:

- Posibilidad de inclinación de la superficie de separación.
- Reflejos uniformes en la superficie interna.
- Fabricación de la superficie tórica interna: cilindro cóncavo.

Fabricación de lentes multifocales con la pieza de visión próxima en la superficie interna

El proceso de fabricación de la pastilla no se diferencia del proceso descrito hasta ahora más que en este caso es su superficie externa (y no la interna) la que se ha tallado, exactamente a la medida de la depresión practicada en la lente base. Se puede tallar también un efecto cilíndrico en la pastilla por lo que son posibles cilindros diferentes en potencia y en orientación del eje, en la zona de visión lejana y en la próxima.

Seguidamente se calienta la lente base a temperaturas relativamente altas, aproximadamente a 900 °C, y se comprime la pastilla, más fría, con una presión de aproximadamente 6 t. dentro del alojamiento de la superficie cóncava. Debido al escaso calentamiento de la pastilla, prácticamente no se deforma la superficie tallada de la misma. A continuación se bisela y se pule la cara cóncava. Eventualmente se le puede dar a la superficie cóncava una forma tórica: cilindro convexo.

Las ventajas de la fusión interior son:

- La pieza adicional tiene forma de menisco y por tanto una mejor calidad de imagen.
- La pieza adicional está más protegida frente al rayado.
- Reflejos uniformes del lado del objeto.

Lentes trifocales

Las lentes trifocales se fabrican según los mismos principios que las lentes con pieza de visión próxima en la su-

perficie interna o externa. Como el tallado del vidrio base y de la pastilla sólo permite un único radio, se ha de conseguir la diferencia de potencias entre la pieza de visión próxima y la pieza de visión intermedia utilizando materiales de distinto índice de refracción. En el ejemplo de la figura 1 se han tomado los índices: $n=1,611$ para la pieza de visión intermedia y $n=1,685$ para la pieza de visión próxima. En general se calcula el índice de refracción de la pieza intermedia de forma que su adición sea la mitad de la adición en la zona de visión próxima.

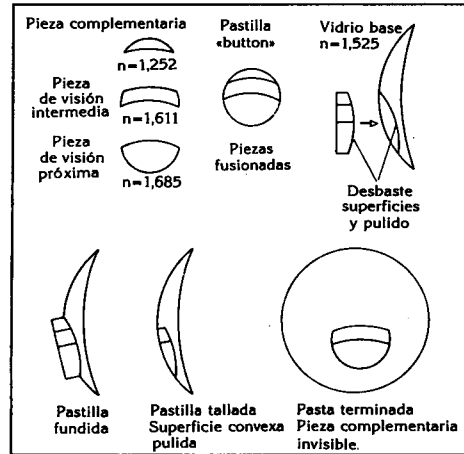


Fig. 1 Fabricación de lentes trifocales

Vidrio compuesto

El primer intento de combinar vidrio y material sintético en una lente lo realizó una empresa francesa. La baja densidad del núcleo sintético se unió a la elevada dureza de la superficie de vidrio formando una unidad insoluble.

El vidrio CS está compuesto en su mayor parte por un núcleo de poliuretano (no de CR39!) que constituye al menos la mitad del espesor central de la lente total. Las superficies de vidrio crown, que limitan por ambos lados a la lente, tienen un espesor entre 0,2 y 0,4 mm. Este espesor tan pequeño requiere una mayor precisión en el proceso de desbaste que en el proceso normal ya que la tolerancia en el espesor de centro de un vidrio crown normal ya es de 0,2 mm.

Los datos del vidrio CS son:

Índice de refracción $n=1.509$; densidad $\delta=1.48 \text{ g/cm}^3$; N° de Abbe 57,9 que corresponde casi exactamente al de un vidrio crown estándar.

Lentes progresivas

Las lentes progresivas son cada vez más apreciadas por el óptico y por el cliente. Su tecnología corresponde al nivel de la técnica actual y ofrecen frente a las usuales lentes multifocales las siguientes ventajas:

- Visión nítida en todas las zonas de visión.
- No existen zonas muertas ni salto de imagen.
- Presentan ventajas estéticas al parecer lentes monofocales.

Las lentes progresivas son muy recomendables sobre todo cuando es la primera vez que se necesita una gafa para visión próxima así como en el caso de que se precisen gafas para todo uso con poco trabajo en visión próxima.

No negamos que también hay casos problemáticos. En general suelen presentar más molestias cuando existe un cambio en el sistema de corrección del usuario, ya sea porque anteriormente utilizaba dos gafas distintas para visión de lejos y visión próxima o porque utilizaba lentes multifocales convencionales. También por un cambio del fabricante de lentes progresivas se pueden presentar molestias.

También se deben elegir con cuidado este tipo de lente en los casos de adiciones superiores a 1.50 D. en una primera prescripción y en los casos en que su utilización principal sea para trabajos en visión próxima. Es inevitable el empeoramiento de la imagen en las zonas periféricas de las lentes progresivas lo que se denomina «efecto balanceo». El tiempo de adaptación a las lentes progresivas puede ser muy variado.

Fabricación de lentes progresivas

La fabricación de lentes progresivas se realiza siempre a partir de una sola pieza, generándose la superficie progresiva siempre en la cara convexa. Las lentes minerales se obtienen por tallado con muelas de diamante mientras que las lentes progresivas orgánicas se obtienen por moldeado a partir de material CR39. Las superficies progresivas no tienen simetría de rotación y en parte, tampoco tienen simetría axial.

La fabricación de lentes progresivas sólo es posible con máquinas controladas por control numérico porque la superficie progresiva tallada o moldeada está compuesta por más de 600 puntos de medida. La fabricación tiene lugar bajo un continuo control mediante máquinas automáticas de medida porque los frontofocómetros convencionales no pueden medir la complicada superficie esférica. Así, la superficie progresiva es controlada punto por punto y comparada con el protocolo de medida dado.

Diagrama de dispersión de los índices de refracción de los vidrios ópticos

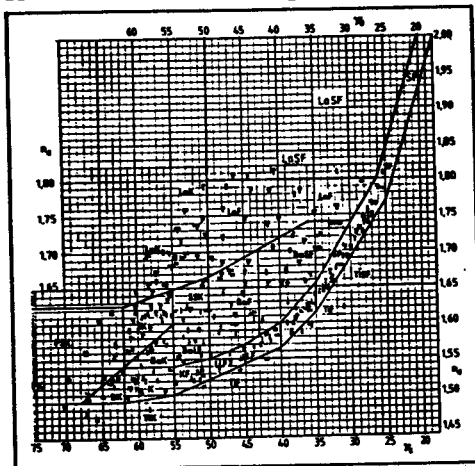


Fig. 2 Diagrama de dispersión de vidrios ópticos

En el diagrama n/μ se representa cualquier vidrio óptico según sus valores de índice de refracción y del n° de Abbe. Algunos tipos de vidrios se han agrupado y caracterizado con una denominación del grupo abreviada y un número.

Ejemplos: BaSF 50 es un vidrio flint de bario denso de n° 50; LaK 23 es un vidrio crown de lantano n° 23. Otras abreviaturas son:

B=Boro; K=Crown; F=Flint; FK=Crown de Fluor; LF=Flint ligero; KF=Crown-Flint; LLF=Flint extraligero; PK=Crown de Fosfato; SF=Flint denso; SK=Crown denso; TiF=Flint de Titanio; TiK=Crown de Titanio; TiSF=Flint de titanio denso.

Según una vieja tradición se dividen los vidrios en vidrios crown y vidrios flint según el n° de Abbe: Vidrios crown tienen un n° de Abbe $\delta < 55$; Vidrios flint tienen un n° de Abbe $\delta < 50$.

Es notable que el B270, como vidrio crown de marca no está representado en este diagrama. En el sentido estricto no se trata de un vidrio óptico ya que su transmisión varía de un vidrio a otro aunque este hecho no es perceptible por el ojo humano.

Recubrimientos de lentes oftálmicas

Los recubrimientos en lentes oftálmicas consisten en depositar capas finas sobre las superficies de la lente, mediante técnicas de alto vacío, para mejorar las propiedades superficiales de la lente. Actualmente más de la mitad de todos los vidrios ópticos tienen algún tipo de recubrimiento para mejorar su calidad. Principalmente los recubrimientos se aplican según tres finalidades distintas:

- Recubrimientos antirreflejantes (disminución de los reflejos)
- Aumento de la absorción (lentes de protección y filtros solares)
- Endurecimiento de las superficies (capas duras)

Estas capas tienen una composición muy variada según el material sobre el que se depositan, crown, de alto índice o CR39, y según su finalidad y son tecnológicamente muy distintas.

Capas antirreflejantes

Debido a la gran diferencia entre el índice de refracción del vidrio y el del aire, en cada superficie limitante de un lente se obtienen reflexiones que representan una pérdida de transmisión y cuya magnitud se puede determinar fácilmente con la fórmula de Fresnel. Para un observador estos reflejos dificultan la visión del ojo del portador de la gafa y éste tiene un contraste de imagen reducido debido a las imágenes secundarias y a los halos de luz.

En las lentes con recubrimientos antirreflejantes se reducen estos reflejos superficiales y por lo tanto, también se aumenta la transmisión de la lente.

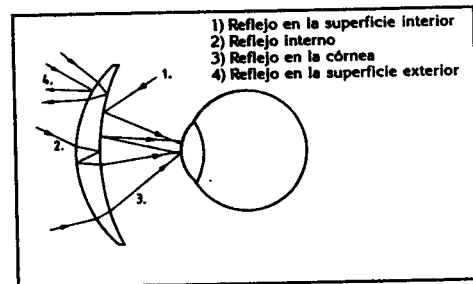


Fig. 3 Reflejos en las lentes oftálmicas

Reflejos en las lentes oftálmicas

Se diferencian 4 tipos de reflejos distintos:

Tipo de reflejo:	Molesto sobre todo en:	Efecto:
1) Cara interior	Conducción nocturna	Molestan al propio usuario
2) Interior	Fondo oscuro	de la gafa
3) En la córnea	Ametropías elevadas	Molesto para el observador
4) Cara exterior	Lentes negativas altas	
	Lentes multifocales	

Principio de la disminución de los reflejos

No se dará aquí una explicación detallada del principio en que se basa la disminución de reflejos por la aplicación de capas finas. Queremos recordar que para obtener una disminución del reflejo es necesario que interfieran las ondas reflejadas en ambas caras de la capa fina. Para esto es necesario determinar exactamente el espesor de la capa y el índice de refracción de la misma de forma que coincidan los máximos y los mínimos de las ondas reflejadas con lo que se anulan.

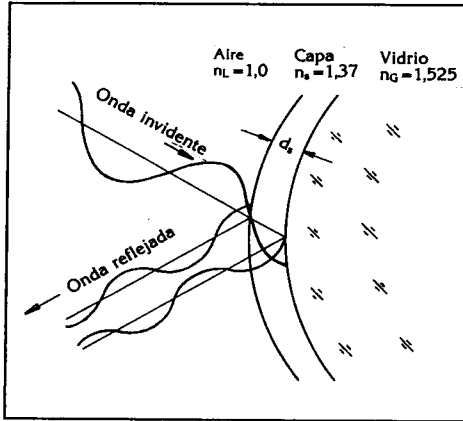


Fig. 4 Reducción de la reflexión: Interferencia destructiva.

La base física de este principio la dan dos fórmulas sencillas que se conocen como condición de fase y condición de las amplitudes.

$$\text{Condición de fase: } n_s \cdot d_s = \frac{\lambda}{4}$$

Condición de amplitudes $n_s = \sqrt{n_G}$
 n = índice de refracción; d = espesor de la capa; λ = longitud de onda de la luz incidente.

Como se puede observar, es necesario, para cumplir la condición de fase, una adecuada elección del espesor de la capa d_s , mientras que la condición de amplitudes condiciona, para cada material n_G , una adecuada elección del medio n_s .

Ejemplo: Capa antirreflejante para una superficie de vidrio crown $n_G = 1,525$

$$\text{Condición de amplitudes: } n_s = \sqrt{1,525} = 1,23$$

Condición de fase para una longitud de onda $\lambda = 550 \text{ nm}$:
 Espesor de la capa $d_s = \lambda / n_s \cdot 4 = 550 \text{ nm} / 1,23 \cdot 4 = 111,8 \text{ nm}$.

Resultado: Una materia sólida con el índice de refracción $n_s = 1,23$ y la dureza mecánica y química necesaria, no existe. Por tanto, no es posible eliminar completamente los reflejos en una superficie de vidrio crown con una única capa antirreflejante. Además, el espesor de la capa debería ser de aproximadamente $0,0001 \text{ mm}$ que se puede cumplir por deposición en fase vapor.

Se ha de tener en cuenta que una reducción completa de la reflexión sólo se obtiene para esta longitud de onda. Para cualquier otra longitud de onda sólo existirá interferencia parcial y por tanto, sólo se anulará parcialmente. Como la luz solar o artificial cotidiana (luz blanca) es una mezcla óptica de radiaciones de longitudes de onda de 380 a 780 nm, es típico para toda lente con tratamiento antirreflejante que exista un reflejo residual. La suma de los rayos reflejados da una mezcla de color que es el color complementario para el que se calculó la capa antirreflejante. Como las capas antirreflejantes se suelen calcular para la radiación verde-amarillento, la suma de las longitudes de onda de las reflexiones residuales da un color de reflejo violeta a rojo púrpura. Esta tonalidad poco estética se observaba en las capas ET (antirreflejantes) de la primera generación. Actualmente también se pueden obtener tonalidades cosméticamente más favorables como son los tonos marrones y dorados que además son reproducibles. Para solucionar el problema de la reproducción y evitar problemas en su posterior pedido de una lente antirreflejante suelta, es decisiva una elevada técnica de medida que se consigue añadiendo en el vapor un cuarzo oscilante que permite controlar exactamente el espesor de la capa así como un espectrómetro de masas que permite controlar la cantidad de cada material en la capa.

Recubrimientos en lentes minerales

Recubrimiento monocapa

Como material para una monocapa se utiliza exclusivamente el fluoruro de magnesio (MgF_2) que tiene un índice de refracción entre 1,37 y 1,38 y se deposita sobre ambas superficies de la lente con espesores de capa de $100 \text{ nm} = 1/10000 \text{ mm}$. Aunque el MgF_2 no cumpla la condición de las amplitudes para el vidrio crown, se utiliza este material para monocapas debido a su dureza, siendo actualmente el único material que para una sola capa es suficientemente adherente y resistente al rayado.

Para las lentes de material de mayor índice de refracción, el MgF_2 ya es más apropiado como muestra el hecho de que cumpla mejor la condición de amplitudes:

$$n_s = \sqrt{1,706} = 1,306$$

El valor $n_s = 1,306$ está relativamente cerca del índice de refracción del MgF_2 ($n = 1,38$) utilizado, estando bastante más cerca que al valor necesario para el vidrio crown ($n_s = 1,23$)

Las lentes de material de alto índice de refracción, sin capa antirreflejante, tienen una reflexión de casi el 7 % en cada superficie por lo que existirá mucha reflexión molesta tanto para el portador como para el observador. En este tipo de material se debería recomendar siempre al cliente la utilización de un recubrimiento antirreflejante.

La figura 5 muestra el efecto de una monocapa sobre vidrio crown y sobre un material de mayor índice de refracción. También nos muestra, para su comparación, el comportamiento de las superficies no tratadas.

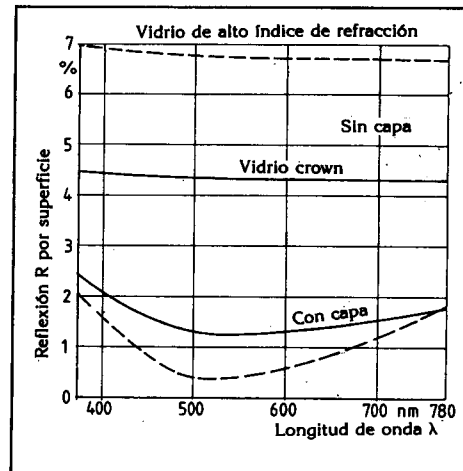


Fig. 5 Efectos de una monocapa sobre vidrio crown y sobre vidrio de alto índice de refracción

Según el diagrama, la línea que representa al vidrio crown sin tratamiento transcurre casi horizontal con una reflexión media del 4,3 %. Existe, según la ley de Fresnel, una relación de la intensidad de luz reflejada en función del índice de refracción, esto significa para las longitudes de onda más cortas una mayor reflexión que para las longitudes de onda largas.

La superficie de vidrio crown B270 con una monocapa antirreflejante presenta un mínimo de reflexión entre 500 y 600 nm con aproximadamente un 1,3 %; las zonas del espectro correspondientes a la radiación roja y violeta reflejan algo más. Pero la reflexión siempre es menor que en el vidrio no tratado.

El hecho de que los vidrios de alto índice de refracción cumplan mejor con la condición de amplitudes se observa en la menor capacidad de reflexión que tienen estas lentes con un recubrimiento monocapa, siendo claramente inferior al 1 % para la importante zona de longitudes de onda comprendidas entre 500 y 600 nm. Salta a la vista la mayor pendiente de la curva a ambos lados del mínimo, lo que

tiene como consecuencia un mayor colorido del reflejo residual.

Recubrimientos bicapa

Una doble capa hace posible una considerable reducción de los reflejos, hasta valores inferiores al 1 %, frente a los obtenidos con la aplicación de una monocapa. Es todavía válida la condición de fase pero para la condición de amplitudes hay que introducir la siguiente variación:

$$n_1^2 \cdot n_G = n_2^2$$

n_1 = índice de capa externa, $MgF_2 = 1,38$

n_2 = índice de la capa que limita al vidrio

Como material para la segunda y otras capas se pueden utilizar, entre otros, los siguientes compuestos:

La_2O_3 $n=1,78$

Ti_2O_3 $n=2,25$ a $2,28$ (variable)

SiO_2 $n=1,46$

Esta última substancia tiene tendencia a convertirse fácilmente en SiO_2 , con el índice de refracción $n=1,8$, es decir, en lugar de un efecto antirreflejante se consigue un efecto reflectante!

La elección del espesor de la capa y del material permiten ahora diferentes soluciones. Dos posibles variantes serían:

Una curva que contiene dos mínimos a 400 y 600 nm, pero presentando un pronunciado máximo entre ellos, justo en la zona de máxima sensibilidad espectral del ojo, con una reflexión de aproximadamente un 1 %. También son una desventaja las relativamente empinadas pendientes de la curva de reflexión en las zonas de las longitudes de onda cortas y largas.

Una mejor solución, utilizada por todos los fabricantes, es aquella que alcanza sólo un mínimo aproximadamente a los 500 nm pero que presenta un aumento mucho más pronunciado de la reflexión en las zonas periféricas del espectro.

En resumen, una doble capa presenta un buen compromiso entre grado de reflexión, dureza mecánica y necesidad de limpieza.

Recubrimientos tri- y multicapa

La utilización de capas triples permite una óptima reducción de los reflejos, pudiéndose mantener en reflexión en prácticamente un 0 % a lo largo de una ancha zona de longitudes de onda. Actualmente se utilizan paquetes de capas, en los que cada una de las tres capas está dividida en otras capas secundarias, pudiéndose superponer seis o más capas donde se alteran los índices de refracción altos y bajos. Esta complicada superposición de capas constituye un secreto guardado celosamente por cada fabricante. Como capa externa siempre se utiliza el MgF_2 .

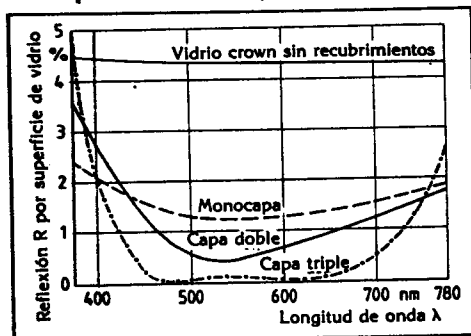


Fig. 6 Efecto de una monocapa, bicapa y tricapa sobre un vidrio crown.

Es importante para el óptico y el cliente saber que estas capas superantirreflejantes no tienen la misma resistencia al desgaste que una monocapa pero, en la práctica, siguen siendo suficientemente adherentes.

Además, con la utilización de multicapas se detecta más cualquier mancha de suciedad en la superficie de la lente

ya que esta es reflejada a ambos lados (vidrio/mancha y mancha/aire) y perturba de forma duradera las sensibles condiciones de interferencia. Es importante mentalizar al cliente de la extrema necesidad de limpieza de un tratamiento multicapa.

Fabricación de capas finas

La tecnología de capas finas es muy costosa y requiere una tecnología muy avanzada y mucha experiencia. Aumentando la escala para dar valores que nos sean fácilmente comparables, se trata de depositar una capa de 1 mm de espesor sobre una lente de 20 m de grosor, debiéndose mantener la regularidad de esta capa de forma tan exacta que, tomando otra comparación, si se tratara de la superficie de un lago, no debería tener ninguna ola con una altura superior a 10 centímetros.

También la teoría de estas capas delgadas es comparativamente complicada. ¿Porqué una capa tan delgada se adhiere tan bien?

Se ha podido comprobar que la capa de fluoruro de magnesio se difunde dentro de la capa superficial de silicato del vidrio mineral. Este proceso de la interdifusión térmica requiere de una temperatura de aproximadamente 300 °C, que debe ser alcanzada regularmente durante el proceso de deposición de capas. La teoría también supone que tiene una mayor adherencia debido al paso de iones y al enlace de valencia.

En cambio en las lentes de material orgánico que sólo pueden alcanzar 100 °C, la capa depositada sobre la superficie se adhiere sobre todo por fuerzas de Van der Waals, fuerzas polares y formación de costras (escarificación).

La base de un buen recubrimiento es una cuidadosa y costosa limpieza de las superficies en ocho o diez baños, a continuación un lavado por ultrasonidos y un secado libre de residuos. A continuación se colocan las lentes en un soporte circular; campana para obtener una distancia lo más regular posible a la fuente del mecanismo de deposición de capas. Con una bomba mecánica de compuerta giratoria se consigue una presión de aproximadamente 1 a 10 hectopascal (= milibares). Le sigue un efluvo durante aproximadamente 10 minutos en el que los iones y electrones son precipitados, debido a la existencia de una corriente, de tal manera contra la superficie del vidrio, que arranca los últimos restos de gas y agua quedando la superficie del vidrio ligeramente aspera.

Para el proceso de la deposición de capas, propiamente dicho, es necesario un alto vacío de al menos 10^{-6} hPa; para ello se utilizan las llamadas bombas de aceite de difusión que poseen piezas de calefacción. Para tener una idea de la capacidad de estas bombas daremos tres datos:

El recorrido libre medio de las moléculas de gas es de:
a 1000 hPa (presión normal) = 0.00006 cm
a 1 hPa (efluvo) = 0.005 cm
a 10^{-6} hPa (deposición) = 500 cm.

Como media, una molécula de gas puede volar una distancia de 500 cm antes de que choque con otra molécula!

Para el proceso de evaporación se utilizaban antiguamente hilos de wolframio entre dos electrones. Actualmente son usuales vaporizadores de rayo electrónico, comparable al principio del rayo electrónico del tubo de TV. Las energías liberadas ascienden a 40 Kw/cm²!

El fluoruro de magnesio se introduce en un recipiente, en forma de barquita, de platino, se vaporiza y se desplaza a elevada velocidad a través del espacio donde tiene lugar la deposición, precipitándose sobre la superficie fría del vidrio y condensándose.

Para la medición del espesor de la capa se incluye en ella un cuarzo oscilante, parecido al que oscila en un reloj. El espesor de la capa depositada varía el número de oscilaciones dando una excelente medida de espesor de la capa alcanzado. Los componentes químicos de los distintos materiales de la capa se determinan con un espectrómetro de masas.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

Vidrio y capas finas

Fabricación de capas finas

Los dos instrumentos más importantes en la tecnología de los recubrimientos mediante capas finas se han representado esquemáticamente en la figura 1: la campana de vacío, llamada recipiente, y, en detalle, el moderno vaporizador por cañón de electrones. En la figura correspondiente al recipiente todavía se representa la antigua técnica de los electrodos para la evaporación del sustrato, colocado en un crisol en forma de barquito. El vaporizador de cañón de electrones, usual hoy en día, necesita, debido a su elevada densidad de rendimiento, un sistema de refrigeración por agua adicional.

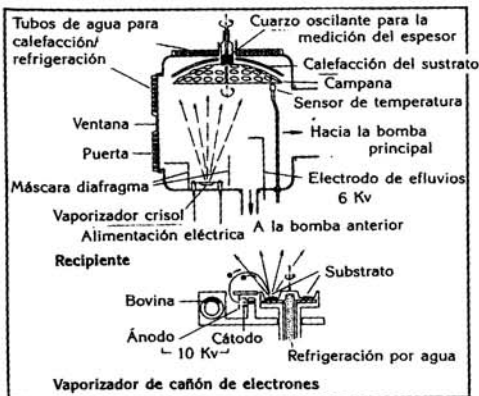


Fig. 1. Recipiente y vaporizador de cañón de electrones.

Capas delgadas sobre lentes orgánicas. Capas antirreflejantes sobre CR 39

El tratamiento antirreflejante en las lentes orgánicas se efectúa según los mismos principios que las lentes minerales. Pero existen diferencias básicas que se deben a las diferentes propiedades de los materiales orgánicos y minerales. Mientras que el vidrio mineral se dilata muy poco con el calentamiento habitual, la diferencia en el coeficiente de dilatación del material orgánico y del material inorgánico de la capa, plantea serios problemas. Ambos materiales a unir tienen una dilatación que se diferencia en un factor 200. Además, el CR 39 no se debe calentar a temperaturas superiores a 100 °C, una temperatura a la que el fluoruro de magnesio todavía no se puede depositar con suficiente adherencia. En el vacío, los materiales sintéticos también tienden a eliminar de su superficie, moléculas de agua.

Todos estos motivos llevan al desarrollo de paquetes de capas completamente nuevos sobre el CR 39. En la práctica se dieron dos posibles soluciones.

Capas inhomogéneas - capas homogéneas

Ambas soluciones tienen en común que utilizan una capa externa de cuarzo. La razón es la resistencia mecánica del cuarzo. Por desgracia, el índice de refracción del cuarzo $n = 1.47$ se diferencia muy poco del índice del CR 39 que es $n = 1.502$. Se descarta por tanto una monocapa de cuarzo. Cualquier tratamiento con capas para el CR 39 está constituido, según el estado actual de la técnica, por multipaquetes.

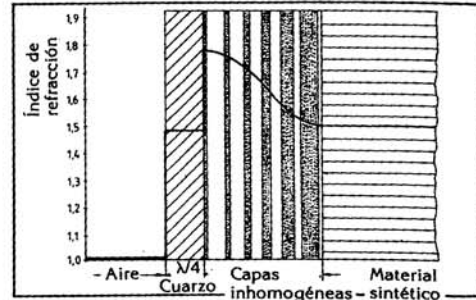


Fig. 2. Capa antirreflejante inhomogénea.

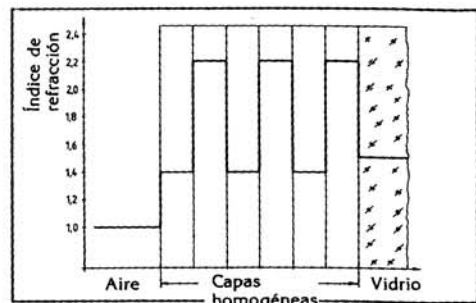


Fig. 3. Capa antirreflejante homogénea.

En el caso de la capa intermedia inhomogénea se depositan varias capas de distintos espesores y de distintos índices de refracción, una sobre la otra. Es característico el fuerte aumento del índice de refracción de la primera capa, aproximadamente $n = 1.8$ y la disminución gradual hasta el índice de refracción $n = 1.502$ del CR 39. De esta manera casi no hay reflexión en la superficie limitante CR 39/capa intermedia y en la superficie limitante cuarzo/capa intermedia se cumple suficientemente bien la condición $n_{\text{cuarzo}}^2 = n_{\text{capa intermedia}}$.

En el caso de las capas homogéneas se puede depositar una capa intermedia muy fina de óxido metálico, o un paquete de varias capas de igual espesor, que alternan índices de refracción altos y bajos. La solución esquematizada en la figura 3 corresponde a un tratamiento multicapa sobre vidrio tipo Super ET por que se ha puesto el vidrio como material base. Pero es también válida para el material orgánico CR 39. En la práctica siempre se busca un compromiso entre un color de reflejo residual suave que se consigue con una posición favorable del mínimo, y un aumento no demasiado brusco de la reflexión en los extremos, es decir, en la zona limitante del rojo y del ultravioleta.

Es muy importante, en el tratamiento con capas del CR 39, una cuidadosa preparación de las lentes, para evitar

que queden restos de agua o de gases en la estructura superficial relativamente porosa del material orgánico. Incluso el mismo polímero de CR 39 debe cumplir las más altas exigencias respecto a la pureza y calidad. En el sector del «tratamiento con capas» la técnica está en continuo desarrollo y las empresas, por razones comprensibles, se reservan la relevación de cualquier detalle.

Capas endurecedoras sobre CR 39

La poca dureza de la superficie del CR 39 requiere una capa que actúe como eficaz protección para la superficie, sobre todo como protección frente al rayado. Para esto se depositaban debajo de la capa antirreflejante usual de cuarzo, paquetes de cuarzo relativamente gruesos de aproximadamente 1 a 2 μm . Pero el problema principal seguía siendo la dilatación térmica tan distinta del cuarzo y del material base de CR 39. Una solución totalmente nueva fue entonces la deposición, en mojado, de capas químicas con espesores de 3 a 5 μm .

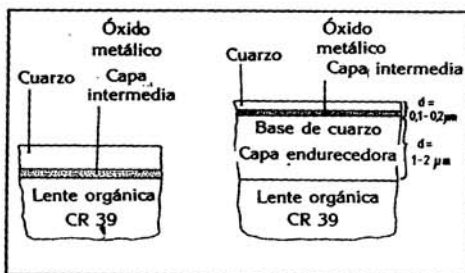


Fig. 4. Capa antirreflejante - endurecedora sobre CR 39.

La dureza del cuarzo es debida a su estructura tetraédrica. Un átomo de silicio está situado en el centro y forma enlace de valencia química con los cuatro átomos de oxígeno situados a igual distancia en las esquinas del tetraédro. A esto es debido la dureza del cuarzo pero también su poca elasticidad.

Lo que se buscaba entonces era un material en el que parte de los átomos no estuvieran enlazados tan fuertemente en las tres direcciones del espacio dentro de la red cristalina. La elasticidad deseada se consiguió químicamente con los órgano-alcoxilanos. Estos son enlaces de silicio con oxígeno y grupos de determinadas moléculas orgánicas, como por ejemplo, restos de hidrocarburos y grupos etílicos. Por hidrólisis se transformó este material en silanoles, que posteriormente y con la ayuda de un catalizador fueron condensados a una macromolécula de polisiloxano. Gracias a una investigación muy intensa se consiguieron ajustar los silanoles de tal manera que la relación entre el espesor de la capa y su elasticidad tuviera la forma óptima.

Lacado por inmersión de lentes orgánicas de CR 39

Los silanoles no se pueden depositar en fase de vapor y al vacío ya que se descompondrían. Por tanto había que encontrar una nueva técnica. Este proceso, llamado lacado por inmersión, exigió el desarrollo de métodos de producción totalmente nuevos.

Después de la limpieza en baños químicos y por ultrasonidos, se coloca la lente en una pinza de fijación y se efectúa el proceso de inmersión durante el cual la lente se recubre por ambos lados con una capa de siloxano del espesor deseado. Los parámetros decisivos de regulación son la viscosidad del recubrimiento y la velocidad con la que se sacan las lentes del baño.

El más mínimo movimiento de la superficie del baño tendría como consecuencia distintos espesores de capa. Por esto, todos los elementos de accionamiento de la instalación deben estar colocados libres de vibración y se debe evitar cualquier transmisión de vibraciones sobre el baño. A continuación se polimeriza la capa a temperaturas un poco por debajo de los 100 °C y se consigue con ello la dureza deseada. Además, el baño de inmersión y el secado exigen una temperatura ambiente, humedad y densidad constantes en grado sumo, así como una alta pureza del aire como es también usual en los procesos de la industria electrónica.

El resultado de estos esfuerzos es una mayor resistencia al rayado de las lentes de CR 39. Este método por inmersión, cuya eficacia ya está probada en la práctica, también es resistente frente a los usuales productos de limpieza y detergentes orgánicos del hogar. Solamente soluciones fuertemente alcalinas atacan esta capa. No son necesarias ni especiales las indicaciones del cuidado para el usuario ni tampoco normas especiales para su manipulación por el óptico, aunque hay que evitar una sujeción demasiado apretada en la automática.

Control de calidad de los recubrimientos sobre CR 39

La multitud de recubrimientos efectuados por deposición de capas sobre el CR 39, motivó a «Kratzer und Uhl» a efectuar amplios test a los distintos productos. Se utilizó la clasificación siguiente:

- Antirreflejante simple ET
- Capa de polisiloxano con antirreflejante simple PET
- Capas de cuarzo por vaporización con antirreflejante simple QET
- Capas de cuarzo por vaporización con superantirreflejante QSET

El recubrimiento es sometido a las siguientes pruebas:

- Mecánica
- Térmica
- Química

En la práctica, la prueba a la que mayormente está sometida la lente es a la mecánica, es decir, que el recubrimiento está expuesto a puntiagudos granos de arena, que ocasionan rayas. Después de semanas y meses habrá bastantes rayas que, desde el punto de vista óptico, producen luz difusa. El proceso es comparable al rayado del parabrisas de un coche. En la conducción nocturna estas rayas causan un desagradable fenómeno de deslumbramiento y reflexiones parásitas. Experimentos de abrasión y de rayado con diamante llevaron a los siguientes resultados:

El recubrimiento de polisiloxano (PET) muestra una resistencia mecánica excelente. La capa simple (ET) e incluso el CR 39 todavía sin tratar se pueden valorar como relativamente resistentes. En cambio las capas de cuarzo QET y QSET mostraron grandes desgastes y por tanto una gran cantidad de luz difusa.

El test de temperatura también es de importancia debido al coeficiente de dilatación tan elevado del material sintético. El material CR 39 se dilata hasta 200 veces más que las sustancias inorgánicas del recubrimiento, por lo que las capas están sometidas a elevadas tensiones de tracción y compresión. En general es válido que las capas delgadas tienen un comportamiento más ventajoso debido a su mayor elasticidad. En los test, el mejor resultado lo obtuvo, como era de esperar, la fina capa simple pues puede seguir más fácilmente las dilataciones del material sintético.

En el test de la resistencia química no hubo ninguna de las capas que tuviera más ventajas que otra.

En resumen, la capa de polisiloxano es mecánicamente la más resistente, en caso de ser sometida a temperatu-

ras, lo es la capa más delgada: la monocapa ET. Pero la dureza del vidrio de silicato no se puede alcanzar con ningún recubrimiento.

Lentes filtrantes

Las lentes con efecto filtrante se pueden obtener a partir de todos los tipos de vidrio. Según el material base, son usuales las siguientes formas de obtención:

- Coloreados en la masa
- Recubrimiento al vacío en fase de vapor
- Coloreados por inmersión

También es característica la combinación de la capa filtrante y la capa antirreflejante, obteniéndose las llamadas capas filtral-ET.

Métodos de obtención del efecto filtrante

En el caso del vidrio mineral, se puede obtener el efecto filtrante a partir del correspondiente vidrio fundido coloreado, es decir, coloreado en la masa, o por deposición de una capa delgada.

Para la necesaria absorción del UV es usual añadir compuestos de cerio, obteniéndose el color por la adición de manganeso. Para las lentes que también deben absorber el IR se adiciona selenio. Como en las lentes coloreadas en la masa la transmisión depende del espesor de la lente, este método se utiliza sobre todo para lentes neutras o en forma de una capa fundida sobre lentes incoloras.

Más común es el recubrimiento por deposición, en fase de vapor, de capas delgadas que son uniformes en todo el diámetro de la lente, incluso en el caso de lentes de potencia elevada.

Las lentes orgánicas obtienen el tono deseado por inmersión, durante un corto tiempo, en un baño de color. También el decoloramiento o el cambio de color es posible y usual; el único factor limitante a la multitud de colores es el estético.

Utilización

La luz diurna normal y la luz artificial de lámpara de incandescencia así como de lámpara fluorescente, no suelen ser perjudiciales para el ojo humano. Aun así, pueden surgir molestias en forma de dolores de cabeza o ojos cuya causa no se puede determinar satisfactoriamente. Estas llamadas molestias astenópicas se pueden en muchos casos aliviar e incluso eliminar totalmente con lentes filtrantes. Las causas más probables son los efectos del UV-A sobre el ojo, la luz difusa y la fluorescencia. El aumento del contraste, en condiciones visuales difíciles, le es confortable a cualquier usuario.

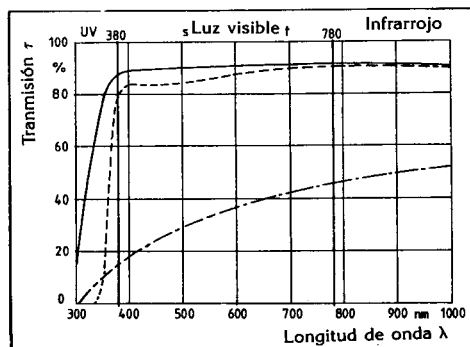


Fig. 5. Comparación de las transmisiones de vidrio crown B 270 incoloro del vidrio filtrante y del vidrio de protección solar.

Efecto de las lentes filtrantes

Las lentes filtrantes ayudan en el caso de molestias astenópicas porque reducen claramente la transmisión en toda la zona del UV. Se habla de un corte UV porque la transmisión de la lente filtrante empieza casi de golpe a los 380 nm. También se pueden obtener lentes que además absorban en la zona de los IR.

Las lentes filtrantes se pueden utilizar para todas las actividades, incluso para la conducción nocturna. Pero para ametropías altas hay que tener en cuenta algunas limitaciones según la norma DIN 58.216. La mayoría de fabricantes envían tablas de sus lentes que dan información sobre la utilización permitida.

Lentes de protección solar

El proceso de fabricación de las lentes de protección solar coincide con el de las lentes filtrantes (ver más arriba). Según el material base, se obtienen estas lentes por coloreado en su masa, por deposición de capas delgadas y por inmersión. A la ventaja ya mencionada de la absorción del UV-A, se suma la reducción de la luz visible como protección del deslumbramiento y aumento del contraste. Son usuales reducciones del 35, 50, 65, 75 y 85 %. La reducción se mide para la radiación amarilla de longitud de onda $\lambda = 555$ nm, para una lente plana de 2 mm de espesor y iluminada con luz normalizada D 65.

La elección de la lente se debe hacer según su finalidad de uso.

Fisiológicamente reducciones demasiado grandes de la transmisión no tienen sentido.

La norma DIN 58.217 describe particularidades de las lentes de protección solar. Una lente cualitativamente correcta debería tener, entre otras, las siguientes características:

- La transmisión en la zona del UV-B debe ser completamente nula.
- La transmisión en la zona del UV-A hasta 360 nm debe ser muy pequeña.
- Entre 450 y 650 nm, el grado de transmisión no debe ser menor al 20 % del grado de transmisión total.

Esto significa que todos los colores deben estar presentes y no deben ser filtrados algunos colores en particular (filtros de banda). Normalmente se denomina esta exigencia: reproducción natural de los colores.

Endurecido de lentes minerales

Una lente mineral posee una elevada dureza superficial pero se rompe fácilmente. La causa es su poca resistencia a la tracción mientras que su resistencia a la compresión es como mínimo entre 10 y 40 veces mayor. Durante el desbaste de la lente en bruto se producen finas fisuras que pueden ser punto de partida de tensiones de tracción. El posterior pulido tiene, entre otras, la finalidad de eliminar lo más completamente posible estas muescas y las tensiones allí producidas. No sería en absoluto rentable, en un producto de masa relativamente barata como es una lente óptica, proceder a un pulido de superficie absolutamente perfecto aunque si que es posible técnicamente. En los productos de vidrio que como elemento constructivo, están sometidos a una fuerza de tracción, se les puede aumentar su resistencia por pulido al fuego o por cauterizado químico. Para las lentes oftálmicas sólo entran en consideración otras dos posibilidades:

- Endurecido térmico.
- Endurecido químico.

Endurecimiento térmico

En el endurecimiento térmico se calienta el vidrio rápidamente a su temperatura de ablandamiento (T_g), así,

cuando su superficie ha alcanzado esta temperatura, en el interior todavía está ligeramente más frío. Inmediatamente se enfría el vidrio inyectándole aire frío. Este enfriamiento brusco es más rápido en la superficie que en el interior, que todavía está encogiéndose cuando la superficie ya está a la temperatura ambiente. Pero como la superficie y el interior están unidos, la capa superficial está sometida a una tensión de compresión y en el interior a una tensión de tracción siendo la tensión de compresión aproximadamente tres veces mayor que la resistencia a la tracción en flexión y aumenta con el espesor del vidrio.

Si una lente tratada térmicamente sufre un golpe, se rompe en trozos de vidrio no peligrosos: pequeños, casi regulares y sin bordes afilados. El tamaño de los trozos de vidrio se puede determinar de antemano según la temperatura alcanzada durante el proceso de templado.

Las lentes endurecidas térmicamente no pueden ser biseladas, por esto, antes del proceso de endurecido, la lente debe tener su forma y sus medidas definitivas, así como ya deben estar hechas todas las perforaciones.

Se reconocen por medio de la cruz de tensiones que es una característica de estas lentes por poseer grandes tensiones internas y que es visible con el comprobador de tensiones (polariscopio).

Endurecido químico

En el endurecido químico de las lentes, la tensión de compresión en la superficie se consigue variando su composición química frente a la del interior de la lente. La variación tiene lugar por intercambio de iones en la masa salina caliente. Como es sabido, los iones de los diferentes elementos químicos tienen distintos radios y distancias entre sí. Si se introduce un vidrio, que debe tener un cierto contenido de iones de sodio (Na) capaces de intercambio, en una solución de potasio (K), entonces los iones de Na salen del vidrio y van a la disolución mientras los iones de K salen de la disolución y se introducen en la masa del vidrio. Como estos iones de potasio son aproximadamente 1,4 veces mayores que los de sodio, habrá una falta de espacio en la superficie del vidrio que se manifiesta en una tensión de compresión. La zona de intercambio debe tener una profundidad mínima de 0,1 mm para alcanzar un aumento de la resistencia de 3 a 5 veces.

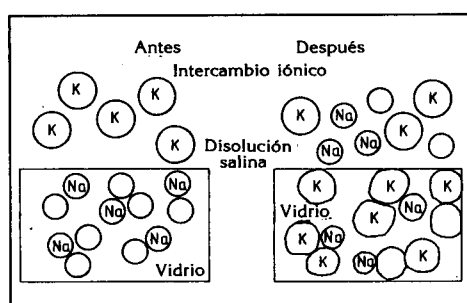


Fig. 6. Endurecimiento químico por intercambio de iones.

Las ventajas del endurecimiento químico son la existencia de tensiones periféricas menores, no se forma la cruz de tensiones y un efecto de dureza más regular. Las desventajas son el tiempo que dura el proceso (aproximadamente 16 horas), así como la restricción a aquellos tipos de vidrio que poseen suficientes iones intercambiables, por ejemplo lentes fotocromáticas.

Ambos procedimientos de endurecimiento sólo son realizables prácticamente por el fabricante, que antes bisela la lente según las indicaciones del óptico.

Materiales naturales: carey

El carey sirve para la fabricación de monturas de alta calidad. Se obtiene del caparazón de la auténtica tortuga (lat. *Eretmochelys-Imbricata*). Se utilizan las delgadas partes periféricas del caparazón, no aprovechables para otros fines, que son soldadas a planchas mediante calor, presión y vapor.

Ventajas del carey

¡La densidad del carey es de tan sólo 1.3 g/cm³! Tienen una elevada resistencia y elasticidad por lo que las piezas de la montura pueden hacerse relativamente delgadas. Esto, unido a la baja densidad, permite obtener una montura muy ligera y confortable.

Las varillas de carey no necesitan pieza interior. Tiene una elevada dureza al agrietado y en consecuencia el pulido es duradero.

La resistencia al calor es de mínimo 80 °C. Es muy resistente a la forma: una montura de carey, una vez ajustada, jamás dejará de estarlo.

El carey es resistente al envejecimiento, no inflamable y se puede soldar de forma invisible.

No produce ningún tipo de reacción alérgica. Los seguros médicos permiten la compra de una montura de carey en el caso de una alergia a las materias sintéticas.

El carey puede ser de tres colores: claro, oscuro y con manchas. El carey claro es raro y por lo tanto caro.

Manipulación del carey

Para doblar e introducir el vidrio en una montura de carey se debe calentar lo suficiente, a más de 80 °. En caso de duda, se deberá calentar y doblar el material poco a poco. Varios ajustes, incluso en el mismo sitio, no lo deterioran. Pero el carey no debe ser recalentado porque se quema.

Los vidrios se deben biselar ajustándose a la forma con exactitud pues el carey no se dilata. El carey nunca se debe limpiar en un baño de ultrasonidos: Algunas capas del material, que fueron soldadas durante el proceso de fabricación, podrían desprenderse.

Material natural: cuerno

Para la fabricación de monturas del llamado cuerno de búfalo se utilizan los cuernos de los tres animales siguientes:

- El búfalo de agua africano.
- El búfalo siamés de la India.
- El búfalo «irish» africano.

La utilización de los cuernos macizos no acarrea problemas porque pueden ser serrados a planchas y luego limados en forma de monturas. Más difícil es el trabajo con cuernos huecos: primero se sierran por la mitad y luego se comprimen, combinando presión y temperatura, hasta obtener planchas planas. Estas se pueden trabajar por corte de la forma usual.

Los cuernos huecos tienen tendencia a girarse a su forma original: un cierto efecto hélice es característico de estos cuernos.

El tipo del cuerno, el color y el dibujo determinan el precio del cuerno de búfalo. Los datos mecánicos y las propiedades de uso de las monturas de cuerno de búfalo se corresponden aproximadamente con los de las monturas de carey.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó, de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrasa.

Técnicas de fabricación: control

En la fabricación de una montura, que según el material y el proceso de fabricación utilizado, puede tener hasta 200 pasos de trabajo, están intercalados numerosos controles, para poder obtener un producto final listo para el uso.

Los controles comprenden:

- Control inicial: control de los materiales en bruto.
- Controles intermedios durante el proceso de fabricación.
- Control final.

Lo que se controla es que se cumplen los parámetros prefijados en el diseño.

Estos valores requeridos pueden ser, por ejemplo:

- Exactitud de medida.
- Calidad de la superficie.
- Exactitud en el color.
- Resistencia.

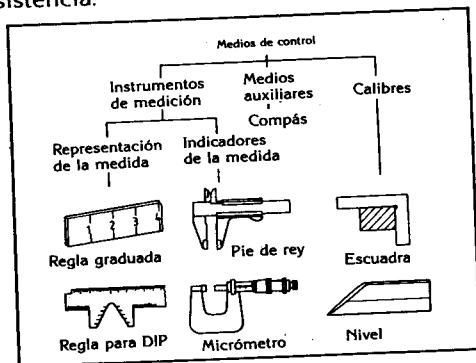


Fig. 1. Medios de control.

El control se puede hacer:

- Con los sentidos.
- Con instrumentos de control.

Los controles por percepción sensorial son controles subjetivos y están unidos a la persona del controlador.

Ejemplo:

Comparaciones visuales de color.

Control de la superficie con el dedo.

Los controles con instrumentos son controles objetivos. Permiten una afirmación cuantitativa sobre las desviaciones respecto a los valores requeridos.

Ejemplo:

Medición de la potencia de vértice posterior de una lente, medida de una longitud, pesado de una masa.

Se diferencia el control en:

- Medición.
- Calibración.

El siguiente pequeño resumen de los medios de control aclara la diferencia entre la medición y la calibración.

Calibración

El ángulo de una pieza puede ser controlado con un calibre de ángulo plano que consiste en la representación del ángulo deseado. En la calibración se compara, por tanto, si existe una desviación entre la pieza y el calibre.

No se puede determinar el valor numérico de la desviación. El resultado será:

«Bueno» o «No corresponde a las exigencias».

Ejemplos:

Calibres para ángulos, para longitudes, para radios, para rocas, calibres de nivel.

Medición

La magnitud conocida como unidad se compara con la magnitud a medir. Se determina cuantas veces la unidad está comprendida en la magnitud a medir.

La magnitud conocida como unidad es, por ejemplo, 1 metro, 1 dioptría, 1 kilogramo, 1 grado.

El resultado de la medición puede ser: 30 m, 4,5 D, 1,87 Kg, 20 °C.

Conceptos de la técnica de medición:

Magnitud de medida: Magnitud que debe ser medida, por ejemplo, potencia de vértice posterior, longitud, fuerza.
Unidad de medida: Unidad con la que se ha de comparar la magnitud de medida: Dioptría (D), mm, Newton (N), grado (°C).

Valor de medida: Producto del valor numérico y de la unidad que se puede leer en el instrumento de medida: +2,0 D, 30 mm, 25 °C, 18,5 N.

Graduación de la escala: Distancia entre las divisiones sobre el instrumento de medida: 0,125 D, 1 mm, 1 °C

Valor de la escala: Variación de la magnitud de medida que provoca sobre la escala una variación del indicador por una graduación.

Margen de medida: Margen de los valores de medida que puede determinar el instrumento.

Resultado de medidas: Resultado de una medición sin error de medida conocido.

La indicación del valor de medida puede ser análoga o digital.

Indicador análogo: Los instrumentos con escalas graduadas o marcas están destinados para una indicación continua. La medida cambia, por ejemplo, de 0,05 a 0,1 a 0,15 a 0,2, etc.

Indicador digital: En los instrumentos de medida con indicador digital suele estar visible solo la cifra a considerar. La indicación no es continua, da saltos. Cambia, p. ej. de 0,04 a 0,09 a 0,12, etc.

La ventaja de la indicación digital, que cada vez se utiliza más, está en la lectura más segura ya que no es necesario que el usuario traduzca mentalmente las marcas divisorias en décimas o centésimas.

Los frontofocómetros pueden tener indicadores analógicos o también digitales.

Medidas y desviaciones de medida de un útil de trabajo

Las medidas indicadas en el esquema de una pieza no se pueden cumplir exactamente en el proceso de fabricación.

Las razones son:

- Desgaste de las herramientas durante el proceso de trabajo.
- Inexactitud de la maquinaria.
- Errores de medida.

Por motivos económicos no es deseable una exactitud muy elevada ya que aumentando la exactitud también se aumentan los gastos de fabricación de forma sobreproporcional.

Una fabricación económica se hace siempre lo más basta posible pero tan exacta como sea necesario.

La exactitud requerida depende de la función de la pieza, de la carga a soportar y del tiempo de vida esperado. Es, por ejemplo, completamente suficiente darle a la longitud de una varilla una tolerancia de 1 mm ya que de todas maneras habrá que adaptarla individualmente a cada usuario. En cambio, si también se le diera una tolerancia de 1 mm a un tornillo para charnela, casi siempre sería inservible. Por eso están indicadas en el esquema de una pieza las desviaciones de medida permitidas (tolerancias). Todas las indicaciones están normalizadas (Norma DIN 7182).

Tolerancias ISO y ajustes

La fabricación en serie de monturas y lentes requiere que piezas que se fabrican en diferentes máquinas pueden ser unidas entre sí de forma arbitraria. Cualquier trabajo o retoque posterior interrumpiría el proceso de trabajo y requeriría de un costoso trabajo de adaptación. También en el montaje de piezas de recambio es deseable, bajo puntos de vista económicos, un montaje sin problemas. Por esto no solo existen normas DIN sino también normas ISO (Organización internacional de Normalización) para poder fabricar e intercambiar mundialmente piezas. Muchas normas DIN ya están orientadas según las normas ISO.

Medida nominal: Medida deseada, a la que se refieren todas las demás medidas.

Diferencias de medida: Nos dan las desviaciones permitidas hacia arriba y hacia abajo de la medida nominal:

Diferencia de medida superior A_0

Diferencia de medida inferior A_u

El signo positivo o negativo nos indica la dirección de la desviación.

Valor máximo: Medida normal + diferencia de medida superior.

Valor mínimo: Medida nominal + diferencia de medida inferior.

Tolerancia: Medida existente en un punto de la pieza, obtenida por medición.

Medida requerida: La medida nominal junto con la indicación de las diferencias de medida superior e inferior. (tabla I).

Errores de medición

No es posible medir sin errores!

Aunque la creciente calidad de los medios de control induzca a suponerlo, la magnitud real de un objeto (referido a la técnica de medición de longitudes) no se puede nunca determinar exactamente.

Los resultados de la medición pueden ser falseados por:

- El objeto a medir.
- El instrumento de medida.
- La influencia del medio ambiente.
- Errores personales del que efectúa la medición.

La diferencia de resultado de medida de la magnitud real del objeto se denomina error de control o de medida.

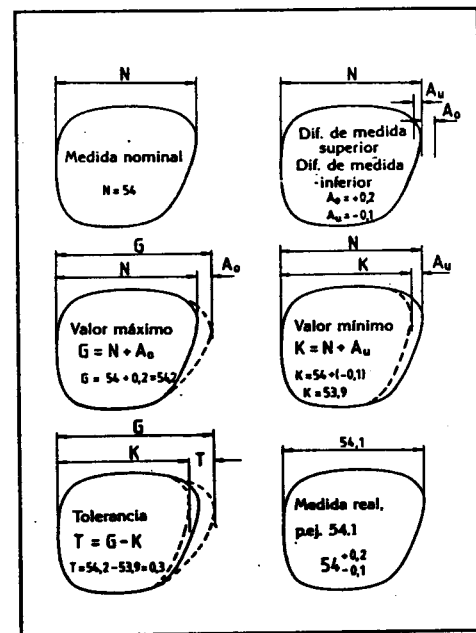


Fig. 2. Medidas y desviaciones de medida.

Error de medida = valor medio - valor real

Los errores de medida pueden ser sistemáticos o casuales.

Los errores sistemáticos son errores que ocurren regularmente y pueden ser considerados durante el control.

Ejemplo: Si debido al desgaste de un pie de rey, siempre se comete un error de 1/10 mm al utilizarlo, entonces este error se puede tener en cuenta en cada medición.

Los errores casuales aparecen irregularmente por lo que no pueden ser considerados durante el control.

Ejemplo: En cada medición con el pie de rey, el ajuste de la pieza puede ser más o menos apretado. De esta manera se dan errores que son diferentes en cada medición.

Este tipo de error se intenta reducir tomando varias medidas y calculando el valor medio.

Ejemplo:

1ª medición:	54.1 mm
2ª medición:	53.9 mm
3ª medición:	54.2 mm
4ª medición:	54.0 mm
Valor medio:	54.05 mm

Causas de los errores de medición

Los errores debidos al objeto a medir son principalmente producidos por una anomalía de su forma.

Esto es:

- Superficies no redondas o no paralelas.
- Rugosidades, ondulaciones de la superficie.
- Piezas con aristas, aceite o grasa.
- Piezas de elevada elasticidad (goma).

Tabla I. Ejemplos en forma de tabla

Concepto	Longitud (mm)	Potencia (D)
Medida nominal	50	+8,00
Diferencia de medida superior	+0,05	+0,12
Diferencia de medida inferior	-0,02	-0,12
Valor máximo	50,05	+8,12
Valor mínimo	49,98	+7,88
Tolerancia	0,07	0,24
Medida requerida	50 + 0,05	+8,00 + 0,12
	-0,02	-0,12
Medida real p.ej.	50,03	+7,95

La figura 3 muestra un error de medida debido a superficies no paralelas.

Las causas de los errores debidos a los instrumentos de medida y calibres son:

- Tolerancia de fabricación del instrumento de medida.
- Desgaste.

Para esto es necesario controlar de vez en cuando la exactitud de los instrumentos de medida.

Los pies de rey se controlan apretando ligeramente sus superficies de medida. En posición cerrada, el cero de la graduación de la pieza móvil y el del nonius deben coincidir. Poniendo el instrumento a contraluz, es necesario observar que las superficies de medida estén en contacto en toda su longitud.

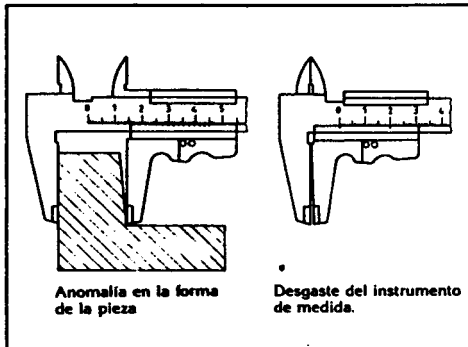


Fig. 3. Causas de errores de medida.

Influencias ambientales

Las influencias ambientales que pueden falsear el valor de la medida son:

- Temperatura
- Humedad
- Campos magnéticos
- Vibraciones

De las magnitudes nombradas, la temperatura es la decisiva. Debido al aumento de temperatura, sobre todo durante los procesos de desbaste y corte, la dilatación provocará, en el caso de una medición inmediatamente después del proceso, considerables errores de medida.

Todos los valores de medida se refieren a una temperatura de referencia de 20 °C. No sólo los instrumentos de medida, sino también las piezas a medir, deben tener esta temperatura durante la medición.

Errores personales

Los errores personales del que efectúa la medida dependen sobre todo de: suficiente conocimiento del manejo del instrumento de medida, suficiente práctica, capacidad de visió y apreciación, paciencia y concentración.

Un error frecuente de medida consiste en mirar, durante la lectura de medidas graduadas e instrumentos de aguja, oblicuamente a las rayas divisorias, sobre la aguja o la raya. La consecuencia es un error de paralaje.

También son frecuentes e importantes los errores por inclinación. Cuando durante una medición, la pieza y el calibre deben estar paralelos entre sí, pueden surgir errores por inclinación. La pieza móvil del pie de rey puede inclinarse por un mal deslizamiento sobre el eje fijo.

La pieza y el instrumento de medida deberían estar, por tanto, colocados uno detrás de otro de forma alineada. Este importante principio metroológico fue formulado por primera vez por Ernst Abbe y se denomina principio de Abbe de metrología.

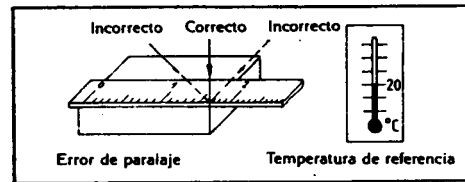


Figura 4. Causas de errores de medida.

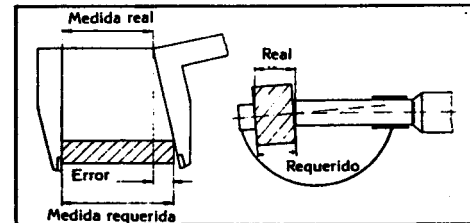


Fig. 5. Errores por inclinación en un pie de rey y en un micrómetro.

El error por inclinación será básicamente menor en un micrometro que en un pie de rey.

Control de longitudes. Unidad de medida

La unidad para la longitud, determinada internacionalmente y fijada legalmente es el metro (símbolo de la unidad: m)

Está determinado como un múltiplo de una longitud de onda: Un metro es la distancia que ocupan 1.650.763,73 longitudes de onda de la radiación anaranjada del gas noble Kriptón, bajo numerosas condiciones.

Hasta 1960, era válido como patrón del metro, la distancia entre dos marcas sobre una vara metálica. La actual definición a partir de ondas luminosas tiene, frente al antiguo patrón, varias ventajas. Es:

- Muy exacta.
- Se puede repetir en cualquier lugar.
- No está sometida a ninguna variación.

Reglas graduadas e instrumentos de medida para longitudes

Las reglas graduadas son instrumentos de medida que representan una o varias magnitudes de medida, por ejemplo, mediante una distancia fija entre superficies o rayas.

Durante la medición no se desplazan unas piezas respecto a otras. La medida se toma a partir de la distancia entre las líneas divisorias. Según el uso y la exactitud requerida, se utilizan reglas graduadas de metal, madera o plástico. La regla graduada del óptico es la regla DIP. La mayoría de reglas graduadas tienen una distancia entre trazos de 1 mm por lo que sólo se pueden tomar medidas en milímetros completos. La exactitud de lectura es la distancia entre dos líneas divisorias.

Pie de rey

En la óptica, uno de los instrumentos más utilizados es el pie de rey. Permite lecturas de 1/10 o 1/20 mm y tiene las siguientes piezas principales.

- Regla graduada con apoyo de medida fijo.
- Apoyo de medida móvil con nonius.
- Superficies de medida para medición externa.

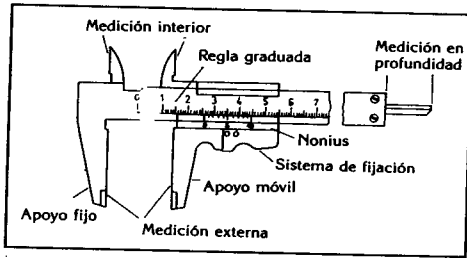


Fig. 6. Pie de rey.

— Superficies de medida para medición interna y a menudo también para medición de profundidad.

La exactitud de la lectura del pie de rey es debida al nonius. El modelo sencillo de 1/10, están divididos 9 mm de su longitud en 10 divisiones iguales, así, la distancia entre dos divisiones del nonius será de $9 \text{ mm} : 10 = 9/10 \text{ mm}$.

La división de la escala sobre el nonius es por tanto 1/10 más pequeñas que sobre la regla graduada fija.

La línea divisoria del nonius que coincide con una línea divisoria de la escala fija, indica las décimas de milímetro.

La función del nonius se muestra en los siguientes ejemplos:

Para facilitar la lectura y aumentar su exactitud existen otros tipos de nonius.

A menudo el nonius está ampliado a una longitud de 19 mm que se dividen en 10 partes iguales con lo que la distancia entre dos líneas de la escala será de $19 : 10 = 19/10 \text{ mm}$. Una división de la escala sobre el nonius es por tanto 1/10 mm más pequeña que la distancia entre dos líneas divisorias sobre la escala fija.

En el nonius de 1/20, el mismo segmento de 19 mm está dividido en 20 partes iguales siendo la distancia entre dos líneas divisorias de $19/20 \text{ mm}$. Por tanto, una división del nonius es 1/20 más que pequeña que una división de la escala fija y la sensibilidad es de 1/20 mm.

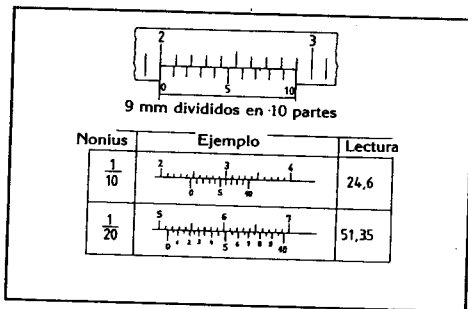


Fig. 7. Nonius.

Los pie de rey con comparador tienen, en lugar del nonius, un comparador de esfera con manecillas con lo que la medida es sencilla, segura y rápida. Totalmente nuevos son los pie de rey con indicación digital que ya no permiten, casi, errores de lectura.

Cuidado y manejo del pie de rey

- Usar los pie de rey sólo para medición, no como compás o trazador.
- Protegerlo del polvo, calor y humedad.
- No tomar medidas en máquinas en funcionamiento.
- Limpiarlo después de usarlo y guardarlo en su estuche.
- Controlar de vez en cuando su exactitud.

Micrómetros

Los micrómetros son, según DIN 863, instrumentos de medida de longitud es con una exactitud de lectura de 0,01 mm.

Las divisiones del husillo de medida son normalmente de 0,5 mm. El tambor y el husillo de medida están fuertemente unidos: si se gira el tambor, el husillo se moverá horizontalmente con la superficie de móvil y la distancia entre esta y la superficie fija aumentará o disminuirá.

Un giro del husillo de medida desplaza la superficie de medida un paso del filete, p. ej. 0.5 mm. Como el tambor lleva una escala con 50 divisiones, si se gira el tambor una división, se desplaza la superficie de medida $1/50 * 0.5 = 0.01 \text{ mm}$.

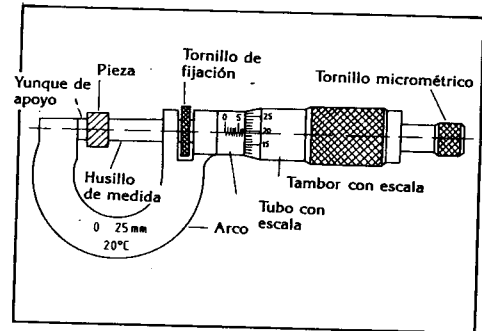


Fig. 8. Micrómetro

El micrómetro más conocido es el utilizado para mediciones exteriores.

Para que la pieza no se deforme por la fuerza durante la medición, el tornillo micrométrico lleva un embrague de fricción que proporciona una fuerza de medición constante.

El arco del micrómetro está recubierto por planchas de protección de material termoaislante para que se transmita lo menos posible el calor de la mano sobre el micrómetro.

Cuidado y mantenimiento de micrómetros

- Utilizar micrómetros sólo cuando se han de considerar tolerancias de centésimas de milímetro.
- No desajustar el micrómetro volteando el arco alrededor del tambor de medida.
- Dosificar la fuerza de medición utilizando el tornillo micrométrico de paso fino.
- En cuanto a limpieza y mantenimiento son válidas las normas dadas para el pie de rey.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Trabajos de corte

Control de ángulos

Unidades - sistema de medida

Para mediciones de ángulos en óptica, y otras áreas técnicas, el círculo está dividido en 360 segmentos iguales, cada uno tiene pues una magnitud $1/360$ del círculo completo. El ángulo que subtiende a cada segmento tiene la unidad de 1 grado (1°).

Las subdivisiones son:

1 grado = 60 minutos = 3.600 segundos

1 minuto = 60 segundos.

Control con plantillas de ángulos

En el taller, el control de ángulos se hace casi exclusivamente con plantillas, p. ej. plantillas para bisel, para topes de varillas.

Las plantillas tienen fijado un determinado ángulo. Para el control se apoyan las superficies de control de la plantilla, a la pieza. Si se observa una rendija de luz entre el objeto a controlar y la plantilla, entonces el ángulo fabricado es distinto al ángulo requerido.

Las plantillas de ángulo de 90° (ángulos rectos) se utilizan a menudo. Se diferencian aquí, ángulos planos y ángulos con tope.

Los ángulos con tope se utilizan, sobre todo, para el trazado. En ángulos planos de gran exactitud se utilizan escuadras de precisión que permiten observar, en el control, una ranura de sólo pocos micrómetros.

En el control con plantillas no se determina el valor real del ángulo ni la medida de la desviación.

Medición con transportadores de ángulos

Con los transportadores de ángulo es posible determinar el valor numérico real del ángulo. El transportador de ángulos sencillo tiene un área de medición de 0° a 180° y una exactitud de lectura de 1° . Está compuesto por una escala fija con división de grados y un indicador de medida móvil, que gira alrededor del centro del círculo. La aguja en la punta del indicador sirve para la lectura del ángulo sobre la escala de grados (fig. 1).

Trazado

Trazar significa traspasar la forma y las medidas de una pieza, de un dibujo a la pieza en bruto.

La fabricación de piezas de gafas se hace según las indicaciones determinadas en el dibujo técnico. Sobre todo,

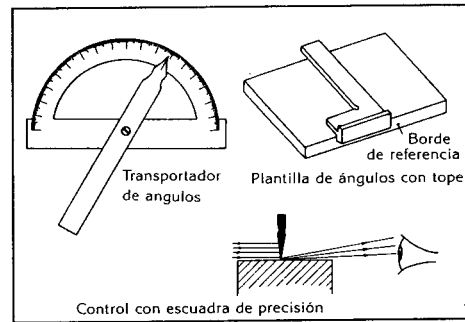


Fig. 1. Instrumentos de control de ángulos.

el contorno de la pieza, perforaciones, centro de las perforaciones y distancias deben estar marcadas sobre la pieza con trazadores o punzones.

Las exigencias del trazado son:

- exactitud suficiente
- buena visibilidad y durabilidad
- no dañar innecesariamente la superficie.

El traspaso de las medidas se hace, por conveniencia, sobre dos planos: los planos de referencia de medida. En el caso general estas son las superficies externas más grandes de la pieza. Deben tener los planos y los ángulos terminados antes de hacer el trazado. Las piezas simétricas también se pueden trazar desde el centro de la pieza.

Herramientas y forma de trabajo

El trazado de las líneas de corte es similar a dibujar sobre papel. Las líneas sobre la pieza se consiguen con trazadores.

Trazador de acero: Es duro, raya la superficie. Estas entalladuras son a menudo causa de errores, sobre todo en piezas delgadas, y perjudican el aspecto de la pieza terminada.

Trazador de latón: Raya menos la superficie, pero se gasta mucho.

Lápiz: No raya, deja trazo de grafito, se gasta muy rápidamente.

Piezas con ángulos rectos se trazan con ayuda de la plantilla de ángulos con tope.

Para las líneas circulares se utiliza un compás con punta, o un compás con muelle, marcándose el centro con un punzón.

Las distancias entre perforaciones se marcan desde un borde de referencia de medida.

Todos los centros de las perforaciones se marcan con punzón para dar a la punta de la taladradora un primer punto de apoyo. Los punzones son de acero para herramientas, con la punta templada y de forma cónica de aproximadamente 60° .

Al aplicar el punzón se inclina de tal manera que se tenga una visión libre del punto de corte de las líneas del trazado y de la punta del punzón. En el momento del golpe, se mantiene el punzón recto para evitar que la punta resbale.

Los puntos hechos con el punzón a lo largo de las líneas del trazado dan la posibilidad de un control constante del progreso del trabajo. En caso de un acabado limpio de todos los trabajos de limado, fresado o taladrado, deben quedar medios (!) puntos debidos al punzón.

El trazado según la forma descrita tiene, como trabajo puramente manual, un costo elevado, que se intenta reducir, incluso en el caso de un número pequeño de piezas, con la elaboración de plantillas y los mecanismos correspondientes. Para la fabricación industrial de monturas en serie, se utilizan naturalmente costosas herramientas de corte para cada modelo.

En un taller de óptica son usuales, para la fabricación de piezas sueltas, por motivos de reparación o para fines de prácticas, dibujos de modelos que se fotocopian o se pegan. Medir completamente la complicada forma geométrica de una montura o de una plantilla es casi imposible. La única posibilidad racional que queda es «calcar» la muestra.

Métodos de fabricación

Se denomina fabricación al proceso industrial o artesanal (producción) que tiene lugar entre la obtención de las materias primas y la distribución del producto manufacturado. Se entiende bajo fabricación económica, el resultado a costes bajos de la calidad requerida, utilizando las técnicas y métodos de trabajo apropiadas para cada caso.

De entre las numerosas posibilidades se elige el método de trabajo adecuado según los siguientes puntos de vista:

- configuración del artículo
- forma y naturaleza del producto
- desarrollo del proceso de fabricación
- coste de la fabricación

Una vez terminada la fabricación, están totalmente determinados los costes para la obtención del producto que incluyen los gastos de material (materias primas y materiales auxiliares) y los gastos de fabricación (sueldos, maquinaria).

En la norma DIN 8580 están especificados los métodos de fabricación (tabla I).

La fabricación de piezas se hace, a menudo, por el método de separación. El importante grupo principal 3, «Separar», se divide en 6 subgrupos:

1. Separar sin arranque de viruta: cortar, punzonar, recortar
2. Separar con arranque de viruta: serrar, limar, perforar, torneear, biselar
3. Separación (no mecánica): cortar con soplete oxiacetilénico, erosión por chistas, avellanación electroquímica
4. Desmontar
5. Limpiar
6. Evacuar

Métodos de separación: sin y con arranque de material

La forma base de todas las herramientas de separación es la cuña. Ambas superficies laterales de la cuña forman una cuchilla común: el ángulo que forman es el ángulo de la cuña β .

En la separación sin arranque de viruta, los residuos tienen una determinada forma geométrica y generalmente pueden ser utilizados posteriormente. Métodos de este tipo de separación son:

- Corte con cuña con herramientas de un sólo filo (escoplo)
- Corte con cuña con herramientas de dos filos (alicates de corte)
- Corte con tijeras (tijeras de papel o cizalla)

Los métodos utilizados industrialmente son punzonar, cortar con guillotina, etc.

En la separación con arranque de viruta varía a forma de la pieza. Las partículas del material se desprenden en forma de virutas.

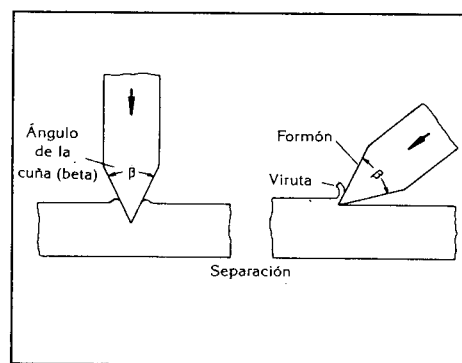


Fig. 2. Métodos de separación.

Tabla I. Tabla de los métodos de fabricación

Grupo principal	Características	Ejemplos
1. Dar forma	Crear una consistencia Se produce un cuerpo sólido de una determinada forma	Moldeado Sintetizado Prensado
2. Transformar	Se mantiene la consistencia. Se modifica un cuerpo sólido por transformación plástica	Forjado Estirado Embutir a profundidad Transformación por flexión
3. Separar	Disminuir la consistencia Rotura local de la cohesión de las partículas del material	Serrado Perforado Torneado Tallado
4. Unir	Aumentar la consistencia Varias piezas se unen	Atornillar Soldado Pegado
5. Recubrir	Aumentar la consistencia añadiendo recubrimientos	Vaporizado Cromado Galvanizado
6. Cambiar propiedades	Cambiar las propiedades del material cambiando de lugar, eliminando o añadiendo partículas	Endurecido Recocido

Las cuchillas en forma de cuña (formón) desprenden el material sobrante en capas y en forma de virutas. La cuña penetra en el material, paralelamente a la superficie de la pieza. En la superficie anterior se forma una viruta que es empujada hacia arriba contra la llamada «superficie de corte de la cuña». En la mayoría de los métodos de fabricación, la forma y la posición de las cuñas de corte están geoméricamente determinadas. También se pueden considerar como cuñas, los granos de las muelas de desbaste, aunque en ellas, la posición y la forma de las cuchillas están geoméricamente indeterminadas (distribución casual).

Los métodos de trabajo con arranque de viruta, que se realizan manual— y también mecánicamente, en el taller del óptico son:

- serrado, limado, rascado
- taladrado, fresado
- biselado

Efecto separador de la cuña

En el caso de corte con cuña, se rompe la coherencia del material por vencimiento de la solidez del mismo.

En la primera fase de la rotura, la cuña penetra perpendicularmente en el material creando una muesca. La cuchilla debe vencer la consistencia de las partículas del material venciendo sus fuerzas de cohesión. Las partículas son desplazadas y forman, a ambos lados de la cuchilla, un abultamiento.

En la segunda fase, es decir, a mayor profundidad de penetración, crece la resistencia contra el desplazamiento del material. A medida que la cuchilla sigue penetrando en el material, empiezan a hacer efecto las superficies de corte de la cuchilla que forman la cuña. La fuerza principal F_H se descompone en las fuerzas de cortado de la cuña F_T que son perpendiculares a las superficies de la cuña.

Finalmente, una mayor penetración de la cuña sólo es posible si se produce una rotura del material, hecho que ocurre si las fuerzas de separación F_T son mayores que las fuerzas de cohesión.

En los materiales elásticos, el desgarró es muy corto, mientras que en materiales quebradizos es relativamente largo; la sección transversal final puede partirse de golpe en dos.

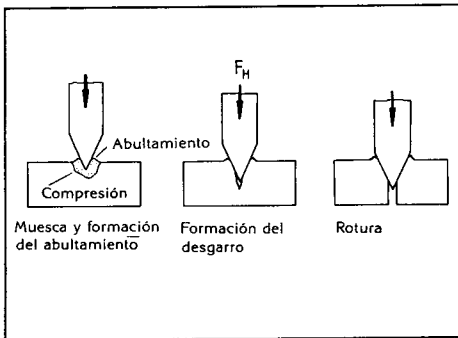


Fig. 3. Efecto separador de la cuña.

El efecto separador de la cuña sólo se entiende, si se examinan con más exactitud las fuerzas de separación. La resistencia de los materiales metálicos está, según el material, entre 100 y 1.800 N/mm². Como es muy difícil alcanzar, por vía directa, fuerzas de tal magnitud, es necesaria una transmisión de fuerza.

Transmisión de fuerzas por medio de la cuña

Esta transmisión de fuerzas se puede representar y com-

probar fácilmente de forma gráfica con la ayuda de paralelogramo de fuerzas.

En este pequeño estudio se varía primero la fuerza principal F_H manteniendo constante el ángulo β de la cuña. Posteriormente, se estudian diferentes ángulos β , manteniendo constante la fuerza F_H .

1. En el caso de un ángulo β constante, aquí 45°, la fuerza principal F_H se representa por vectores de diferente longitud.

La fuerza de separación F_T se construye como resultante del paralelogramo.

Dibujo	1	2	3
F_H (N)	100	300	500
Resultado F_T (N)	131	392	653
$F_{H/FT}$	0,76	0,76	0,76

El resultado se representa en el diagrama, con la fuerza principal F_H en el eje horizontal y la fuerza de separación F_T sobre el eje vertical.

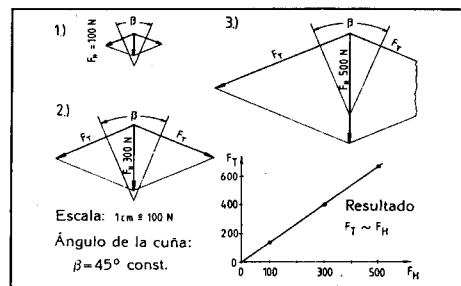


Fig. 4. Relación de la fuerza principal F_H a la fuerza de separación F_T , manteniendo constante el ángulo de la cuña β .

Todos los puntos se pueden unir con una recta, como es característico en una relación rectilínea o proporcional.

Duplicar la fuerza principal tiene como efecto duplicar también las fuerzas de separación, y análogamente al triplicarla. En general es válido: Al aumentar la fuerza principal F_H , aumenta proporcionalmente la fuerza de separación F_T .

2. Para una misma fuerza principal F_H , aquí 300 N, se utilizan cuñas de distinto ángulo β .

Dibujo	1	2	3
Ángulo de la cuña	(°) 30	50	70
Resultado F_T (N)	580	355	261

En este caso se representa la fuerza de separación F_T sobre el eje vertical y el ángulo de la cuña sobre el eje horizontal. En la representación, los puntos de la medida no se pueden unir con una recta, sino con una curva. La curva del diagrama es característica de una relación no proporcional como resultado del estudio.

Con el aumento del ángulo de la cuña β , disminuye la fuerza de separación F_T .

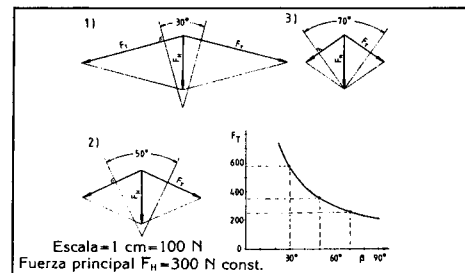


Fig. 5. Dependencia de la fuerza de separación F_T frente al ángulo de la cuña β , manteniendo constante la fuerza principal F_H .

Resultado: ángulo de la cuña, fuerzas de separación y dureza del material.

La interpretación de este pequeño estudio muestra que en la elección de un ángulo β adecuado se enfrentan dos puntos de vista contradictorios:

— Un ángulo pequeño produce elevadas fuerzas de separación aplicando sólo pequeñas fuerzas principales.

— Pero la cuña misma debe cumplir unas exigencias mínimas sobre su resistencia, por lo que debe tener un ángulo β suficientemente grande.

La cuchilla cuneiforme sólo puede vencer las fuerzas de cohesión del material, si puede resistir, como mínimo una fuerza contraria de igual magnitud (fuerza aplicada=fuerza antagonista). Además no se debe dañar, p. ej. fisuras o estar gastada después de pocos procesos de separación.

Pero una resistencia suficientemente grande de la cuchilla de la cuña no es posible si esta es demasiado delgada. Si se utilizara una cuña muy delgada, sobre todo para materiales altamente resistentes, la estabilidad de la cuchilla estaría en peligro.

Por esto, la dureza del material a separar es la que determina, en primer lugar, el compromiso necesario en la determinación del ángulo de la cuña. También por motivos económicos, suficiente durabilidad de la cuchilla, se utiliza, para materiales duros, un mayor ángulo de la cuña.

Según el material, son usuales ángulos entre 35° y 85° . La siguiente tabla, es el resultado de una experiencia práctica, da valores de referencia para la elección del ángulo de cuña correcto.

Tabla II. Elección del ángulo de la cuña

Material	Ángulo
Aluminio, aleaciones blandas de aluminio	35 40
Cobre, bronce blandos	50 60
Acero blando, latón, fundición gris	65 70
Acero muy duro, latón duro	75 85

Arranque de viruta de la cuña de corte

Si la cuña se mueve paralela a la superficie del objeto, se desprende una viruta. La meta de este arranque de viruta es obtener una superficie lo más lisa posible en poco tiempo y aplicando una fuerza pequeña. Son significativos, para ello, los ángulos de las cuñas.

El ángulo β se determina, como ya se dijo, en función principalmente, de la dureza del material a trabajar. El ángulo libre α es el ángulo entre la superficie de corte de la pieza y la superficie libre de la cuña de corte. Este determina el rozamiento y con ello, el calentamiento de la pieza y de la herramienta. Ángulos libres mayores implican un menor rozamiento entre la pieza y la cuña, y por tanto, un menor calentamiento y un menor desgaste.

Para trabajar el metal se ha comprobado que son favorables ángulos libres entre 6° y 10° . Si la herramienta tiene más de una cuchilla, entonces el espacio formado por el ángulo libre debe dar cabida a una cantidad suficientemente grande de virutas.

El ángulo de corte γ es el formato entre la superficie de corte de la cuña y la perpendicular a la superficie de corte.

En el caso de ángulos de corte pequeños (0° a 10°), las virutas se comprimen fuertemente, lo que se reduce con ángulos de corte mayores (10° a 30°). La fuerza de corte y la temperatura de la cuchilla de la herramienta disminuyen. Por otra parte, un ángulo de corte mayor disminuirá la fuerza de la cuña de corte y es, por tanto, sólo utilizable con materiales más blandos.

Por todo esto, el ángulo libre y el de corte no pueden variarse libremente (fig. 6).

El ángulo de la cuña, el ángulo libre y el ángulo de corte siempre forman, juntos, un ángulo recto.

$$\text{Ángulo libre} + \text{Ángulo de la cuña} + \text{Ángulo de corte} = 90^\circ$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

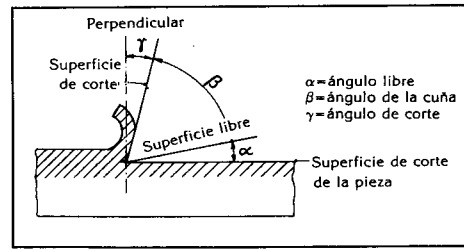


Fig. 6. Arranque de viruta de la cuña.

El arranque de viruta en sí es un proceso complicado, sobre el que actúan numerosas magnitudes. Los ángulos de cuchilla favorables son el resultado de muchos experimentos y de la experiencia que da la práctica.

Proceso de arranque de viruta. (modelo: metal blando pero tenaz)

La formación de virutas en materiales metálicos blandos, pero tenaces, tiene lugar en tres pasos:

- Compresión de las virutas delante de la cuchilla de corte.
- Una presión de corte en aumento vence las fuerzas de cohesión de la estructura del material. Se origina un desgarramiento. El elemento de virutaje comprimido se corta a lo largo de un plano (pano de corte).
- El elemento cortado se desliza a lo largo de la superficie de corte de la cuchilla de la cuña hacia arriba.

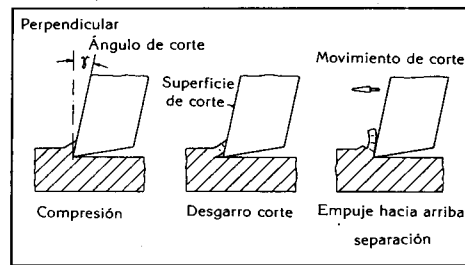


Fig. 7. Modelo de formación de la viruta.

Cuando más duro y más quebradizo sea el material, menores serán los elementos de virutaje.

El tipo de viruta viene determinado principalmente por:

- ángulo de corte
- velocidad de corte
- sección transversal de corte
- dureza del material

Ángulo de corte positivo y negativo

El ángulo de corte es positivo cuando, entre la perpendicular y la superficie de corte, exista un ángulo abierto. El efecto de la cuña de corte es en este caso con arranque de viruta o cortante. Si el ángulo γ se superpone con el ángulo de la cuña β , el ángulo de corte será negativo. La consecuencia es sólo un pequeño arranque de material: la herramienta tiene un efecto de rascado.

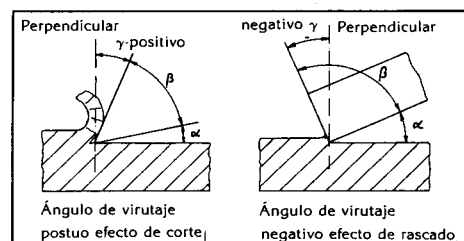


Fig. 8. Ángulo de virutaje positivo/negativo efecto de corte/de rascado.

Tecnología para Ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó, de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Serrado-Limado

Herramientas de corte, materiales, propiedades

Las herramientas de corte deben poseer siempre una mayor dureza que el material a cortar. Pero este teorema tiene un significado más bien teórico, porque por regla general se elige la herramienta de corte por su conductividad.

Productividad en herramientas de corte significa:

- Velocidad de corte elevada
 - Elevada dureza, sin ser quebradizo
 - Tiempo de vida largo
 - Herramienta de corte de bajo coste
- En el taller óptico son usuales los siguientes medios de corte:
- | | |
|--|-------------------------|
| — Aceros para herramientas no aleados | } Uso raro |
| — Aceros para herramientas poco aleados | |
| — Aceros para herramientas altamente aleados | |
| — Metales duros (materiales sinterizados) | } Principalmente en uso |
- Diamante

Aceros para herramientas no aleados

Acero al carbono con 0,5 a 1,5 % C.
Pueden ser endurecidos (agua o aceite)
Resistente al calor hasta máximo 250 °C, sólo apropiada para velocidades de corte mínimas; no recomendable.

Aceros para herramientas poco aleados

Contienen 0,5 hasta 1,5 % C y hasta 5 % de componentes de aleación, p. ej. cromo, manganeso, silicio.
Denominación: acero para herramientas WS
Resistente al calor hasta aprox. 400 °C
Para taladradoras, fresadoras, terrajadoras de filetes; pero poco recomendable.

Aceros para herramientas altamente aleados

Contienen 0,8 a 2 % C y más de 5 % hasta 30 % de componentes de aleación como wolframio, cobalto, molibdeno, vanadio.
Denominación: acero rápido SS
acero rápido de alto rendimiento HSS.
Resistente al calor hasta aprox. 600 °C
Apropiado para velocidades de corte elevadas en taladradores, fresadoras, avellanadores; en cualquier caso preferible.

Metales duros

Materiales sinterizados, compuestos por carburo de wolframio o de tantalio con enlace de carbono.

Se sueldan o se pegan en forma de pequeñas laminillas sobre cuerpos de acero.

Denominación: HM (nombres de marca: Widia, Titanit, Böhlerit)

Resistente al calor hasta aprox. 900 °C, bastante quebradizo!

Utilización: ruedecillas cortavidrios, trasadores, cuchillas de taladro.

Diamante

Máxima dureza y mayor tiempo de vida, pero muy quebradizo, por eso el ángulo de la cuña está siempre sin punta.

Resistente al calor hasta aprox. 1600 °C; se sinterizan en muelas de desbaste o se sueldan a la pieza soporte.

Serrado

El serrado es la separación de piezas con hojas de sierra dentadas y de poca anchura, con movimientos de corte rectilíneos o circulares.

El serrado se utiliza para dejar las piezas a su tamaño bruto y para la obtención de entalladuras y fragmentos.

La herramienta de corte es una hoja de sierra delgada de acero SS o HSS, que consta de una multitud de cuchillas de cuña alineadas unas detrás de las otras.

Proceso de serrado

La hoja de sierra separa el material, con arranque de viruta, al mismo tiempo en varias capas. Cada cuchilla de la sierra desprende una viruta de igual tamaño.

La fuerza de corte FH de la sierra se puede determinar con ayuda del paralelograma de fuerzas a partir de la componente horizontal y vertical de la fuerza aplicada.

Los ángulos de los dientes de la sierra determinan el rendimiento de corte y la fuerza necesaria. Los ángulos y la cantidad de los dientes dependen principalmente del material a separar. El intradente sirve para la eliminación de las virutas que se desprenden.

Hojas de sierra

En la hoja recta de la sierra para metales, los ángulos de cada diente de la sierra miden aproximadamente:
 $\alpha=40^\circ$, $\beta=50^\circ$, $\gamma=0^\circ$

Las seguetas las hay del tipo recto y «helicoidal».

La hoja de sierra helicoidal es muy apropiada para material sintético y aluminio.

División de sierras

Teóricamente se podría tener en consideración la resistencia de los materiales a separar, variando el ángulo de virutaje y el ángulo de la cuña.

En la práctica se toma otro camino: se mantiene la forma de los dientes antes mencionada; pero el trabajo de serrado se reparte sobre un mayor número de cuchillas de cuña. El resultado son las diferentes divisiones de las sierras.

Separación	Materiales	Nº de dientes / pul.
Gruesa	Aluminio, cobre, materiales sintéticos	15-18
Media	Aleaciones de plata nueva	22-24
Fina	Acero, materiales delgados de cualquier tipo	30-33

Para la caracterización de las hojas de sierra se indica el número de dientes por pulgada. Para materiales blandos, especialmente, materiales sintéticos, se utilizan hojas de sierra de separación gruesa. Los grandes intradentes ayudan a eliminar la gran cantidad de virutas que se desprenden.

Para materiales duros y tenaces son más apropiadas las hojas de sierra de separación fina. Reparten el trabajo de separación necesario sobre muchos dientes.

Para materiales delgados siempre se ha de tomar una hoja de sierra fina, porque deberían estar en acción como mínimo dos dientes. La hoja de sierra fina no se enganchará ni se romperá tan fácilmente. (fig. 1).

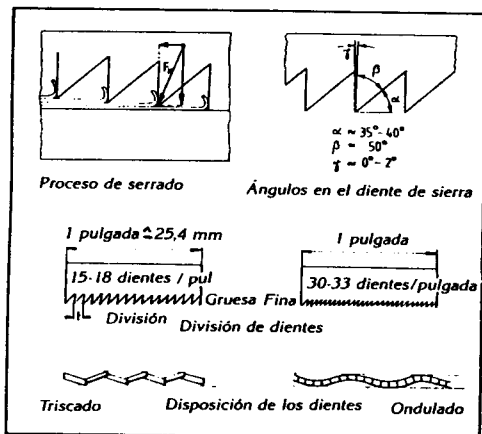


Fig. 1 Sierras

Tipos de sierra

Sierra de marquetería

Hay distintos tipos de sierras de marquetería, son un arquillo fijo y también son un arquillo de longitud variable.

Existen hojas de sierra con distintos espesores y anchuras así como con diferentes formas de dientes y divisiones. Importante: el corte tiene lugar en el momento que se tira, los dientes están dirigidos en dirección a la empuñadura.

Las seguetas deberían estar tensadas lo más tirantes posible.

Sierra para metal

Es muy apropiada para el taller óptico una pequeña sierra (Puk) con una hoja de sierra de longitud 150 mm. La sierra es muy manejable y existe con distintas divisiones de hoja, para metales y materiales sintéticos.

La sierra de mayor tamaño sirve para la separación de piezas de metal gruesas; la longitud de la segqueta es de 300 mm. El corte tiene lugar en esta sierra, al empujar; los dientes miran por tanto en dirección al tornillo tensor.

Disposición de los dientes de la sierra

La herramienta, la pieza y las virutas se calientan durante el serrado debido al rozamiento, la consecuencia es la dilatación de la hoja de la sierra y al mismo tiempo un estrechamiento de la ranura de corte.

Sin la disposición especial de la hoja de la sierra se engancharía pronto, un fenómeno que se observa a menudo en el caso de hojas de sierra desgastadas.

Se obtiene distintas disposiciones de los dientes por:

- ondulaciones; las hojas finas de las sierras de marquetería para el trabajo de metal, son usualmente onduladas.
- Triscado; en el caso de divisiones gruesas, los dientes están desplazados alternativamente hacia la derecha y la izquierda. La ranura de corte es, debido a la disposición especial, siempre mayor que el espesor de la hoja de sierra.

Indicaciones sobre el trabajo

— Tener en cuenta un tensado correcto de la hoja de sierra. Los dientes deben estar dirigidos en la dirección de trabajo.

— Hacer una pequeña muesca en la pieza en la línea de corte; esto facilita el comienzo del serrado.

— Aplicar la presión de corte lo más regularmente posible sobre la sierra.

— Realizar el movimiento de retorno de la sierra sin aplicar presión.

Limado

El limado es para terminar las piezas en su forma y medida debida. La calidad de la superficie de las piezas trabajadas se mejora con el limado (alisado).

Proceso con arranque de viruta

En la lima, son muchos dientes de lima colocados uno detrás de otro, los que separan el material. La liberación de las virutas tiene lugar de forma parecida que en el serrado. Las cuchillas de las cuñas de la lima sólo arrancan pequeñas cantidades de material. Para que los dientes de la lima no penetren tan profundamente y para evitar un enganchamiento, la división de los dientes es generalmente más fina que en la sierra.

Estructura de una lima

Una lima está constituida por:

- Cuerpo de la lima (hoja) con pieza de unión
- Mango de la lima con abrazadera

La lima como pieza bruta se obtiene por forjado, recocido, pulido y enderezado, a continuación se taja o se fresa la zona de (corte). La hoja de la lima se endurece; la pieza de unión al mango se coloca después del endurecimiento; por tanto es blanda.

La empuñadura de la lima se coloca a presión sobre la pieza de unión. Para que no se raje, una abrazadera (anillo de latón) de metal mantiene la empuñadura de madera de la lima unido. Empuñaduras de material sintético suelen tener un grueso recubrimiento de material, también como protección de la mano.

Número de corte y forma de los dientes

El número de dientes por cada centímetro de longitud de lima, se denomina número de corte.

Limas con un número pequeño (división de dientes gruesa) producen superficies rugosas; limas con un número de corte grande (división fina) producen virutas pequeñas y buenas superficies.

Las condiciones del limado no sólo dependen de la división sino que también de la forma del diente. Según el tipo de fabricación los dientes de la lima pueden tener un efecto de rascado o de corte.

Limas tajadas

El diente de lima tajado se forma, cuando se golpea con una herramienta parecida a un escoplo sobre la hoja de

lima. La muesca siempre tiene un ángulo de corte negativo. Un diente así sólo rasca virutas muy finas, siendo la fuerza a emplear, relativamente pequeña.

Un diente tajado tiene una cuchilla muy estable, es apropiado para materiales duros como el acero.

Las limas tajadas tienen un ángulo de corte negativo. Su efecto de separación es de raspado. Con ellas se trabajan materiales duros.

Limas fresadas

Las limas fresadas se obtienen, trabajando los dientes en la hoja de la lima con una fresadora cuneiforme. El diente fresado tiene un ángulo de corte positivo, el efecto de la cuña es cortante.

Materiales blandos como aluminio o material sintético se pueden trabajar mejor con una lima fresada.

Sin un gran esfuerzo es posible «cortar» una cantidad mayor de virutas. Las entalladuras son convenientemente más profundas, para poder dar cabida a la mayor cantidad de virutas. La base del diente está redondeado, para evitar que las virutas se incrusten.

Las limas fresadas tienen un ángulo de corte positivo. Su efecto separador es de corte. Con ellas se trabajan materiales blandos.

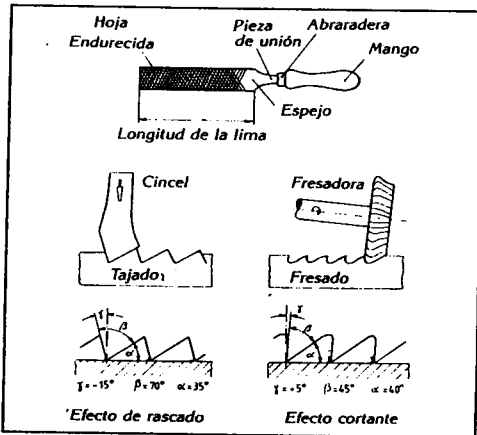


Fig. 2 Tipos de limas

Picadura de la lima

La picadura de la lima se fresa por toda la anchura de la hoja de la lima. Según la forma y la disposición, se diferencia:

- Picadura simple: puede ser recta, oblicua o en forma de arco.
- Picadura cruzada
- Picadura escofina

Limas de picadura simple

Las limas de picadura simple se utilizan sobre todo para materiales blandos.

En la picadura recta las virutas se amontonan fácilmente.

En la picadura oblicua o en forma de arco está mejor garantizado el flujo de las virutas a uno o ambos lados. Ranuras adicionales proporcionan limaduras más cortas y una mejor eliminación de las limaduras.

Limas de picadura cruzada

La picadura cruzada se obtiene, tallando una segunda picadura, oblicua a la primera. La picadura tallada prime-

ro se denomina picadura inferior, la segunda es la picadura superior.

Por regla general se tajan ambas picaduras con ángulos distintos o también con una división distinta.

De esta manera los dientes están desplazados; esto también se denomina «ordenación de asientos de aire». Se obtienen virutas cortas, partidas y además se evita la formación de estrías.

Las limas de picadura cruzada son «limas universales». Son apropiadas para todos los metales duros y quebradizos y para materiales sintéticos.

Limas con picadura escofina

Este tipo de limas tienen dientes tajados, aislados y muy separados. Están previstos para el trabajo grueso de madera y material sintético.

Caracterización de limas

Las limas se caracterizan según su picadura y su sección transversal. (fig. 3)

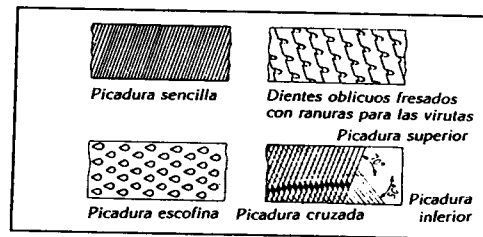


Fig. 3. Tipos de picaduras

División de la picadura

Las limas tajadas se designan con los números de picadura del 1 al 4. Esto corresponde en las limas normalizadas a un número de 6 a 34 cortes por centímetro de longitud de lima. Además existen en el mercado otras divisiones no normalizadas.

El número de picadura aumenta si aumenta el número de cortes y si disminuye la longitud de la lima. Ejemplo: Una lima corta con el número de picadura 3 tiene un número de cortes mayor, es, por tanto, más fina, que una lima más larga con el mismo número de picadura (tabla I).

En líneas fresadas se diferencian las dentadas del 1 al 3:
 Dentada 1: 3,5 dientes/cm de longitud de lima
 Dentada 2: 4,7 dientes/cm de longitud de lima
 Dentada 3: 7,1 dientes/cm de longitud de lima

Lima de diamante

También hay que mencionar la lima de diamante. Está forjada, pulida y recubierta por métodos galvánicos con fragmentos de diamante natural.

Esta lima es apropiada sobre todo para el trabajo de vidrio (muescas, redondeamientos, biselés).

Formas de la sección transversal

Para los distintos trabajos de limado hay muchas formas de sección transversal a elección. Según DIN 7261 estas formas se designan con las letras de la A a la H.

Tabla I

Nº de picadura	Tipo de picadura	Cortes por cm	Trabajado de la superficie	Arranque de viruta
0	Grueso-no normalizado	4-15	Desbastado	Más de 0,5 mm
1	Bastada	6-17	Prelimado	
2	Medio plana	9-23	Prealisado	Entre 0,2-0,5 mm
3	Plana	13-28	Alisado	
4	Doble plana	16-34	Alisado fino	Menos que 0,2 mm
5-8	Finamente plana	No normalizado		

En orden alfabético estas serán: plana sin filo=A, semi-plana, triangular, cuadrada, media caña, redonda, cuchilla, puntiaguda-extremadamente delgada. Además existen limas especiales de distintos tipos.

Indicaciones para el trabajo

- ¡Fijarse en una correcta distribución de la presión! Sóloamente ejercer presión en el empuje hacia adelante, en el movimiento inverso no se ejerce presión.
- La dirección del movimiento es recta en dirección del eje de la lima, en el que la lima se desplaza por la mitad de la anchura de la lima, hacia la derecha o la izquierda.
- Mantener la lima horizontal en dirección del limado.
- Eliminación de las virutas regularmente sobre toda la superficie.
- Limar alternativamente en dirección transversal y longitudinal, para poder reconocer mejor la eliminación de las limaduras.

Cuidado de las herramientas de limado

No guardar nunca las limas juntas y sueltas; rozan entre sí y se desafilan.
Limpiar las limas a menudo. Para eso, pasar un cepillo de lima en dirección de la picadura sobre la lima. Las virutas aprisionadas se quitan con un clavo.

Rascado

Las superficies serradas o limadas no siempre cumplen con las condiciones de calidad de superficie, y de exactitud en la medida y forma.

Con el rascado se eliminan las irregularidades puntiagudas y angulares de una superficie. También las estrías después de un limado pueden ser eliminadas total o parcialmente.

El desprendimiento de virutas en el rascado se hace con una herramienta cuneiforme, el rascador plano o el rascador triangular. Su ángulo de cuña es de 90 grados.

Durante el rascado la herramienta se coloca de tal manera, que el ángulo libre sea de aproximadamente 30°-45°. De esto resulta, que el rascador trabaja con un ángulo de corte negativo y que desprende virutas muy finas. Variando la posición de la herramienta se influye en la magnitud del ángulo libre y del ángulo corte y se varía, por tanto, el efecto de rascado de la cuña.

Se empieza con la eliminación de las estrías existentes. El rascador se coloca oblicuamente a las estrías (menos de 45°), porque sino se engancha.

Después de cada rascado se cambia la dirección de rascado 90°. En el movimiento de regreso, se levanta el rascador de la pieza.

Los rascadores se pulen con un granulado finísimo bajo la acción de abundante agua. A continuación se separa con una piedra de aceite, para eliminar la rebaba en la cuchilla.

Para el trabajo de superficies sintéticos, es usual entre los ópticos, utilizar un trozo de vidrio (vidrio de ventana) de aristas vivas, que se para arrastrando sobre la superficie. Eso tiene buenos resultados (fig. 4)

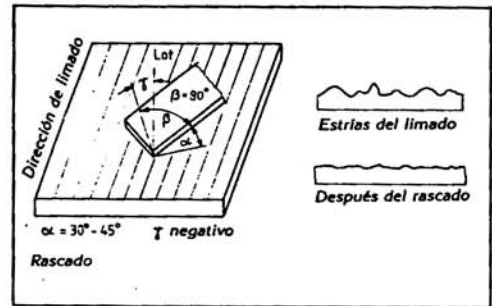


Fig. 4 Rascado

Taladrado

El taladrado es un método de separación con arranque de viruta, con un movimiento de corte circular, para la obtención de agujeros cilíndricos (perforaciones). Como instrumento se utiliza el taladrador.

Trabajos de taladro típicos son perforaciones en la charnela, puente lateral y en la pieza de unión de la montura, así como perforaciones en lentes de vidrio. El taladrado, el frotamiento, el fresado y el biselado son procedimientos para dar forma con arranque de virutas, en el que se utilizan máquinas para el accionamiento de las herramientas.

Los movimientos necesarios para el taladro son:
— movimiento de corte = movimiento giratorio de taladro
— avance = movimiento rectilíneo del taladro penetrando en la pieza.

El movimiento de corte lo genera un motor eléctrico; se puede variar con una transmisión de correa trapezoidal, o con una regulación electrónica.

El avance lo controla la propia persona a través de una palanca, una rueda dentada y una cremallera.

Herramienta de perforación

De entre las distintas brocas, el óptico utilizará casi exclusivamente la espiral.

La pieza de corte es un cilindro de acero tallado por dos ranuras en forma de caracol. Estas ranuras se presanan y se biselan.

Las brocas espirales tienen cinco cuchillas, que actúan simultáneamente:

- 2 cuchillas principales
- 2 cuchillas secundarias
- 1 cuchilla transversal

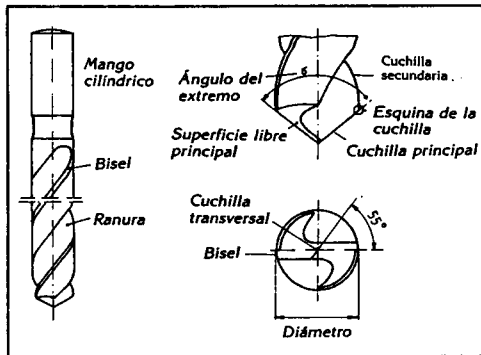


Fig. 5 Denominaciones en la broca en espiral

Las ranuras en forma de caracol se denominan «ranuras de viruta». Permiten la eliminación de las virutas y la entrada de la emulsión refrigerante y lubricante.

El delgado resto de la envoltura del cilindro se denomina bisel. Estos biseles son estrechos, para disminuir el rozamiento. El canto del bisel es la cuchilla secundaria del taladro.

La verdadera cuña separadora son ambas cuchillas principales en el extremo del taladro. Estas están talladas de manera que se obtiene una superficie libre, contra el material. En el extremo del taladro las dos cuchillas principales forman el ángulo de la punta que debe estar ajustado al material a perforar.

El punto de contacto de ambas superficies principales está doblado y forma la cuchilla transversal. Su ángulo de corte es negativo, tiene por tanto un efecto de rascado, mientras que las dos cuchillas principales «cortan».

La participación de la cuchilla transversal en el trabajo de perforado es pequeño, aunque requiere mucho más de la mitad de la fuerza de avance.

El mango del taladro es cilíndrico, sirve para la sujeción de la broca. En él está grabado el diámetro de la boca —medida sobre los biseles.

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Perforado, fresado, rectificado

Tipos de Brocas

Para materiales duros se necesitan, como ya se sabe, un mayor ángulo de ataque γ .

El ángulo de ataque γ es fácilmente reconocible, pues corresponde al paso de la espiral (exactamente al ángulo de inclinación del paso).

El campo de uso del taladro depende de la magnitud del ángulo de ataque, y está normalizado según DIN, en tres tipos: normal, duro y blando.

Tipo	Ángulo de ataque γ	Ángulo de la punta δ	Adecuado para los siguientes materiales
D	10-13°	80-85°	Bronce, latón duro, material prensado acero, plata nueva, níquel, latón aleaciones de aluminio, material sintético
N	16-30	118	
B	30-40	118-140	

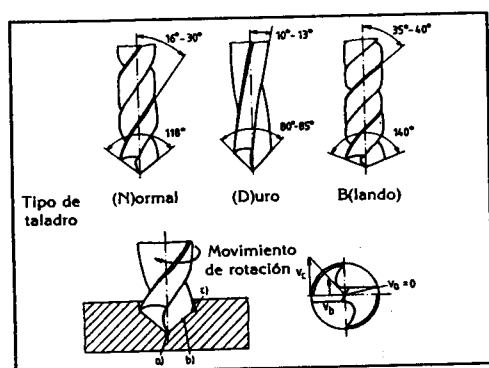


Fig. 1. Tipos de brocas y velocidad de corte

Tabla II. Números de revolución a ajustar en la taladradora.

Velocidad de corte en m/min	Diámetros del taladro en mm						
	2	3	4	5	6	8	10
10	1.600	1.060	800	640	530	400	320
20	3.180	2.120	1.600	1.270	1.060	800	640
30	4.770	3.180	2.390	1.910	1.600	1.200	950
40	6.370	4.240	3.180	2.550	2.120	1.600	1.270
50	7.960	5.300	3.980	3.180	2.650	1.990	1.600

Velocidad de corte y número de revoluciones

El movimiento circular de corte de la broca del taladro se denomina velocidad de corte v , su unidad se mide en m/min. La velocidad de corte v viene determinada principalmente por dos magnitudes:

—dureza del material

—resistencia/estabilidad al calor de la broca

Brocas de acero SS o HSS resisten temperaturas de corte de aproximadamente 500° C y 600° C, sin perder notablemente su dureza. La adición de medios de refrigeración mejora la eliminación del calor debido al rozamiento.

Las velocidades de corte de los materiales usuales en óptica están indicados relativamente bajos en la tabla I. Esto tiene dos motivos: En la fabricación industrial, en la que el factor tiempo juega un importante papel, se tienen bajo condiciones óptimas, velocidades de corte dos o tres veces mayores.

En cambio en el taller óptico, el factor tiempo sólo debería tener un papel secundario debido a los relativamente pocos trabajos de perforado; tiene prioridad aquí la seguridad del resultado deseado. Además, se necesitan generalmente velocidades de corte menores para el perforado de diámetros pequeños que para el perforado de agujeros «grandes»

Tabla I. Velocidades de corte

Material	Velocidad de perforación v m/min
Acero, níquel	10
Materiales sintéticos	10-20
Bronce, latón	20
Cobre, plata nueva	30
Aluminio	50-60

Como en una taladradora sólo se pueden ajustar números de revoluciones, se ha de determinar el número de revoluciones n , a partir de la velocidad de perforación y el diámetro d del taladro.

El cálculo se hace según la relación general entre el número de revoluciones y la velocidad de rotación:

velocidad de corte = velocidad del taladro $\cdot \pi \cdot n^\circ$ de revoluciones

$$v = d \cdot \pi \cdot n$$

Ejemplo: el material a perforar: plata nueva; $v=30$ m/min diámetro del taladro $d=2$ mm.

Hallar el n° de revoluciones n a ajustar

$$n = \frac{v}{d \cdot \pi} \rightarrow n = \frac{30 \text{ m/min}}{0,002 \cdot \pi \text{ m}} \rightarrow n = 4775' / \text{min}$$

En la tabla II están resumidas las velocidades de corte y los diámetros de taladros más importantes. A pesar de haber redondeado, se ve claramente la relación lineal entre el diámetro y la velocidad.

Particularidades del método de separación por taladro

Diremos aquí que el taladro se diferencia especialmente de los otros métodos de separación por la diferente velocidad de corte del material. Cada punto del taladro tiene una velocidad diferente. El bisel y la esquina de la cuchilla, tienen la velocidad mayor, en cambio en el eje del taladro es igual a cero (ver figura 1).

Además es de interés, que debido al plano de corte oblicuo, varía el ángulo de despulpe y el ángulo de ataque. Además, varía con cada afilado, el diámetro de la cuchilla, así como por desgaste, el diámetro del bisel.

El avance

Como todas las taladradoras usuales en el mercado para el taller óptico tienen un avance de accionamiento manual, no se pueden dar aquí datos numéricos.

Es importante, según la experiencia, evitar un avance demasiado lento. ¡No perforar en un mismo sitio!

Se forma un llamado polvillo con sus efectos desfavorables, como son el sobrecalentamiento de la perforación, efecto pegajoso, etcétera.

Recubrimiento de la superficie de taladros

Muchos taladros vienen de la fábrica con un recubrimiento en su superficie. Se trata de un recubrimiento de óxido (revestimiento azul) o de un recubrimiento dorado, de alta calidad, de trióxido de boro, que tienen las siguientes ventajas:

- Protección de la superficie del taladro frente a la oxidación.
- No hay contacto metálico de la herramienta y la pieza, por lo que se disminuye la tendencia a una soldadura en frío.
- Mejor absorción del refrigerante debido a la superficie porosa.
- Posibilidad de velocidades de corte mayores en el caso del recubrimiento (caro) de trióxido de boro.

Refrigerantes y lubricantes para el taladrado

Material	Refrigerante
Acero, níquel, plata nueva, bronce	Emulsión de aceite
Latón, aluminio y aleaciones, materiales sintéticos blandos	Para taladrar (taladrina)
Materiales sintéticos duros, quebradizos, plexiglás, CR 39	Aire, agua
Latón quebradizo, ebonita, materiales prensados	En seco

Indicaciones para el trabajo

- 1) Preparación
Marcar el centro de la perforación — punzonar el centro.
- 2) Elegir el tipo de taladro N, D, B, según el material a perforar.
- 3) Ajustar la taladradora.
Determinar el número de revoluciones correcto, según el material y el diámetro del taladro.
Poner la correa trapezoidal o ajustar el regulador del número de revoluciones.
Fijar fuertemente el taladro por el mango.
- 4) Preparar la mesa de taladrado.
Fijar fuertemente la pieza, asegurar la inmovilidad. En

caso de perforaciones completas, preparar una correspondiente base de apoyo.

- 5) Enchuchar la máquina.
Controlar si la perforadora trabaja centrada.
Taladros que baten pierden su dirección, o se rompen.
- 6) Empezar a taladrar.
Empezar a taladrar cuidadosamente en el punto de punzonado, controlar si el perforado se encuentra en el centro del trazado, eventualmente volver a punzonar.
- 7) Taladrar
Taladrar con suficiente empuje, se deberían formar virutas rizadas.
Perforar los materiales sintéticos de forma rápida; en caso de perforaciones profundas taladrar escalonadamente y eliminar a menudo las virutas, sacando el taladro. ¡Cuidado en perforaciones de paso! Los taladros se enganchan fácilmente si el resto del material es empujado. Por eso, quitar empuje poco antes de la perforación completa.
- 8) Retirar el taladro con el motor encendido. Apagar la máquina.
Limpiar taladro; limpiar mesa de trabajo.
- 9) Romer o avellanar cantos.

Fresado

El fresado es un método de moldeo con arranque de virutas, que se utiliza en el taller óptico, principalmente para el fresado de la base de la charnela y el fresado de ranuras.

La fresa tiene varios filos; los filos tienen una forma geométrica determinada. La herramienta describe un movimiento de corte de forma circular. La pieza se coloca en la fresadora.

(Aquí está la diferencia frente el método del taladrado, en la que la herramienta taladro se acerca a la pieza).

Tipos de Fresa

En el taller se utilizan fresas de ranurar y fresas para bases de charnelas.

La fresa de ranurar es una fresa de forma, es decir, la forma de su herramienta se utiliza como reproducción para la obtención de ranuras (angulares) con un ángulo de 120°.

Son usuales dos tipos:

- Como fresa para metales con múltiples pequeños dientes de fresado.
- Como fresa para materiales sintéticos, generalmente con cuatro grandes dientes de fresado y grandes bandejas acumuladoras de virutas.

Para poder cumplir exactamente con la profundidad de la ranura de 0,5 mm esta fresa está fijada entre dos láminas metálicas circulares, que permiten que los dientes de la fresa sólo sobresalgan 0,5 mm. Los anillos metálicos proporcionan además conducción a la fresa.

Fresas para bases de charnelas se utilizan para quitar fresando las bases de las charnelas en varillas y piezas centrales de material sintético. Se trata de una fresa que tiene dientes de fresado en su superficie lateral y en la frontal. El método es comparable al taladrado, en el que el final del agujero taladrado es plano.

Indicaciones para el trabajo

Las fresas se fijan en el portabrocas de la taladradora. Para el avance y la velocidad de corte es válido lo mismo que para el taladrado.

La pieza de la montura se coloca en un soporte, una conducción sin apoyo requiere práctica y una mano tranquila.

Lo óptimo es la sujeción de la pieza en un soporte en cruz, que puede ser ajustado de forma precisa en los dos ejes.

Los materiales sintéticos se han de trabajar con rapidez, porque tienden al embañamiento de la superficie debido al calor de virutaje.

Tallado de roscas con un macho de roscar manual

Los pasos de una rosca se forman por arranque de viruta con el taladro para roscar o con el perno roscado.

En el taller óptico se labran roscas para fines de reparación casi exclusivamente con el macho de roscar. Los movimientos de corte y de avance vienen determinados por los dientes de corte y el paso de filete del macho de roscar.

El moldeado tiene lugar principalmente por arranque de viruta con los filos del macho de roscar; sólo una pequeña parte es aplastada y comprimida en las aristas de la rosca. De esto resulta que en la rosca hembra interior, el agujero del núcleo central debe ser labrado mayor que el diámetro del núcleo de la rosca. Como buena regla es válido: diámetro exterior menos el paso de la rosca es igual al agujero central a labrar.

Ejemplo: rosca M2 tiene un paso de filete de 0,4 mm, por tanto se debe empezar labrando el agujero central con $2 - 0,4 \text{ mm} = 1,6 \text{ mm}$.

Macho desbastador de roscar

La herramienta para el labrado de roscas interiores es el juego de machos de roscar, de tres piezas para roscas finas.

El macho inicial lleva un anillo filo anular, desbasta aproximadamente el 50%.

El macho intermedio lleva dos filos anulares, desbasta aproximadamente el 30%.

Para agujeros de rosca de paso, por ejemplo en charnelas, también es usual el macho de un solo corte.

Estos machos desbastadores poseen un afilado de entrada relativamente corto; los siguientes perfiles de filete se acercan, repartidos sobre varios pasos de rosca, poco a poco al perfil final.

El mango del macho de roscas es cuadrado para poder acoplarlo al giramachos.

Rosca	M1	M1,2	M1,4	M1,6	M2	M2,5	M3	M4
Ø agujero (mm)	0,75	0,95	1,1	1,25	1,6	2,05	2,5	3,3

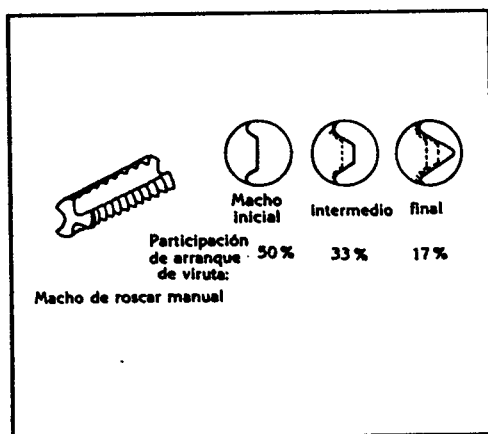


Fig. 2. Macho de roscar manual

Indicaciones para el trabajado

- 1) Labrar la rosca según la tabla anterior. Debe ser algo mayor que el diámetro del núcleo central de la rosca hembra.
- 2) Avellanar la perforación.
- 3) Apoyar el macho de roscar perpendicular al eje de la rosca y empezar a perforar con una ligera presión.
- 4) Cuando las filas han agarrado, seguir girando sin presión.
- 5) Cortar la viruta regularmente retrocediendo un poco después de cada media vuelta.
- 6) En el caso de roscas profundas, evitar la acumulación de virutas, sacando a menudo el macho desbastador.
- 7) Utilizar lubricantes —taladrina, petróleo, trementina.

Rectificado y pulido de metal y material sintético

El arranque de viruta durante el afinado se diferencia de otros métodos porque no existe ningún filo geométrico, camente claramente determinado. Las aristas puntiagudas del medio abrasivo, llamado grano, que se mantienen unidas por un aglomerante, arranca del material finísimas partículas. El medio aglomerante y el grano en él depositado se coloca sobre un portador de medio abrasivo; esto puede ser una muela de aleación de bronce o una muela deformable de fieltro o de tela.

El objetivo es pulir la superficie, la eliminación necesaria de material tiene lugar por la acción de múltiples filos, colocados uno detrás de la otra. Los granos de material abrasivo representan en sus aristas las cuchillas, una sola cuchilla (grano) tiene generalmente un ángulo de ataque negativo.

Una superficie que debe ser afinada debe estar como mínimo aplanada de forma basta; rugosidades demasiado profundas tendrían como consecuencia, primero un tiempo de trabajado muy largo, y segundo, ondulaciones de la superficie.

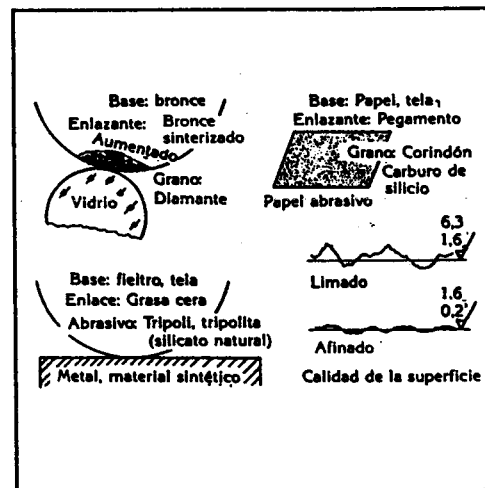


Fig. 3. Afinado

También el método de «rascado» es aconsejable antes de un proceso de afinado. Especialmente los materiales sintéticos se pueden rascar muy bien con una cuchilla (fig. 3).

Papel abrasivo y muelas abrasivas están constituidas por tres partes:

- medio abrasivo, el llamado grano
- medio aglomerante, lleva el grano abrasivo
- portador del medio abrasivo, papel o muela de tela.

Los abrasivos (granos) son corindones y carburo de silicio.

La materia bruta para la fabricación del corindón es la bauxita (Al_2O_3), que se funde en el horno eléctrico.

Productos de esta fabricación son: corindón normal, coloración marrón, con una proporción de Al_2O_3 de aproximadamente el 95 %, corindón noble, coloración gris clara, con una proporción de aproximadamente el 99 %.

Abrasivos de carburo de silicio (Sil), coloración negro-marrón o azul-verdoso, apropiados sobre todo para materiales quebradizos, metales no nobles y materiales sintéticos.

El medio abrasivo fundido se desmenuza y se sortea en clasificaciones de percusión (tamices vibrantes), según el tamaño del grano. La numeración utilizada de la cantidad de mallas por una pulgada de tamiz. Un tamiz con 30 mallas por una pulgada (=25,4 mm), sortea aquellos granos que se designan con el tamaño de grano 30.

Granos usuales son:

Grueso	Medio	Fino	Muy fino
30-60	70-120	150-240	280-600

Aglomerante

El aglomerante mantiene unidos los granos abrasivos sobre la base abrasiva.

Como medio enlazante para papel o tela abrasiva se utiliza pegamento.

Las muelas de diamante para el trabajado a máquina del bisel, tienen cuerpos sintetizadores; las muelas más antiguas de cerámica tienen, como base del abrasivo, arcillas cerámicas o una mezcla de resinas sintéticas cuidadosamente elegidas. En un capítulo posterior se hablará más detalladamente sobre muelas afinadoras.

El papel abrasivo se fabrica hoy en día por un método electrostático, en el que el grano abrasivo se aplica en un campo electrostático y se coloca bajo la influencia del campo en una posición favorable. Pegamentos mantienen los granos abrasivos en esta posición.

Afinado con papel abrasivo y tela

Se empieza con una granulación de aproximadamente 120, y poco a poco se toman granulaciones más finas, hasta que, con una granulación de 400, se obtiene una superficie mate, libre de estrías.

El papel abrasivo se tensa o se pega sobre un cabezal rectificador.

Los movimientos de rectificado/afinado deben ser circulares y reguladores para evitar estrías en una zona determinada.

Esponja rectificadora

La esponja rectificadora contiene el grano enlazado dentro de un material sintético poroso. Como este enlace es muy blando, y por tanto se gasta rápidamente, siempre están disponibles en la superficie granos abrasivos.

Las esponjas abrasivas se pueden utilizar para el rectificado en seco o mojado.

El manejo de la esponja rectificadora se parece al uso de una goma de borrar.

Rectifica con máquina

Las máquinas de rectificado y pulido usuales constan de

un motor eléctrico con los extremos del eje que sobresalen a ambos lados. Un extremo suele estar conformado en punta, el otro como eje con discos.

El rectificado tiene lugar con discos de paño o cepillos rotatorios. El medio abrasivo propiamente dicho, se aplica sobre el disco, ligado a grasa o a cera.

Básicamente es válido: cuanto más blando sea el material, más blando deberá ser el disco de rectificado y también el de pulido.

En el caso general se utiliza:

—para el rectificado de metal un disco de fieltro,

—para el trabajado de material sintético un disco de paño (tela).

Los materiales abrasivos para metal y materiales sintéticos son ácidos silíceo (tripolita) y arena de pómez.

Después del rectificado se ha de limpiar la pieza muy cuidadosamente de material abrasivo adherente. En ningún caso deben llegar restos de material abrasivo sobre el disco pulidor.

Limpieza de los discos de rectificado y pulido

Los medios abrasivos y de pulido gastan poco a poco la superficie de los discos. Los discos se ponen duros e inservibles. Por eso es conveniente una limpieza regular y esmerada con el rodillo de afilar. Sobre un eje estable con mangos de madera está montada una ancha corona con púas de acero. Se aprieta contra el disco en movimiento, cuya superficie en poco tiempo vuelve a estar rugosa y blanda.

Indicaciones para el trabajado

¡Rectificar con presión moderada!

No rectificar sobre el mismo punto, mover constantemente la pieza.

Si se hacen visibles estrías (debido al trabajo), éstas deben ser eliminadas manualmente con un nuevo esmerilado; de lo contrario la superficie quedará ligeramente ondulada.

Si ya se hubieran formado ondulaciones, se ha de cambiar la dirección del trabajo y se rectifica en dirección transversal a la utilizada hasta entonces.

Pulido

El pulido representa la última fase del tratamiento de la superficie. Con ayuda de un medio pulidor apropiado, se obtiene una superficie brillante.

Para el repulido se utiliza un disco limpio (!) con el que se obtiene un pulido muy brillante.

Discos de pulido para metal son:

—cepillos de ante

—cepillos de cerdas

Para materiales sintéticos se utilizan:

—cepillos muy suaves de estambre.

Medios pulidores

Rojo (rojo de París=óxido de hierro) para acero y oro, Verde (óxido de cromo) para acero, plata, plata nueva, níquel.

Azul (cal de Viena) para materiales sintéticos, carey.

El chapado en oro y las capas galvánicas sólo deben ser pulidas con máximo cuidado y con medios débilmente atacantes, como rojo o azul.

El material sintético también debe ser trabajado con mucho cuidado, es decir, con poca presión. De lo contrario se puede quemar en algunas zonas a un sobrecalentamiento.

Velocidad de rectificado y dureza dinámica

Si se aumenta el número de revoluciones del motor eléc-

trico, entonces aumenta la llamada dureza dinámica del disco. Por el contrario, se puede ablandar el disco, dejándola correr más despacio, por ejemplo, para trabajar el puente. Pero esto significa al mismo tiempo una deformación del disco con un fuerte desgaste de los cantos de la montura.

La velocidad correcta de afinado y pulido está entre 15 y 20 m/s (velocidades de afinado se indican en metros por segundo). Las máquinas de rectificado y pulido usuales en el mercado poseen un número de revoluciones de 2.700 a 3.000 revoluciones por minuto; modelos mejores tienen adicionalmente un segundo número de revoluciones de 1.500 revoluciones/minuto.

Si se utiliza la conocida relación entre el número de revoluciones y la velocidad, $v = d \cdot n \cdot \pi$, se calcula con $v = 20$ m/s.

Para un número de revoluciones de 3.000 rev/min, un \varnothing del disco $d = 125$ mm.

Para un número de revoluciones de 1.550 rev./min, un \varnothing del disco $d = 250$ mm.

Por tanto, si se hace girar un disco pequeño con el número de revoluciones menor, su efecto será más blando, pero existe el peligro de gastar visiblemente los cantos.

Indicaciones para el trabajado

En el pulido se debería trabajar siempre sólo con una ligera presión. El calor de rozamiento es elevado, sobre todo los materiales sintéticos pueden sobrecalentarse fácilmente.

¡No pulir sobre un mismo punto! Más bien mover la pieza con movimientos rápidos sobre el disco de paño.

Si durante el pulido se hacen visibles estrías, primeramente se deberá reafinar a mano con mucho cuidado. No es posible pulir estas estrías.

*

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Tecnología del bisel de la lente

Técnicas del trabajo manual el borde de la lente

Si debido a los más variados motivos, no es posible un trabajo del borde con la automática, entonces, la lente bruta (centrada), se biselará a mano según la forma y el tamaño deseado.

Para esto se utilizan básicamente los siguientes métodos de trabajo:

- Dar la primera forma por desbaste manual o corte.
- Biselar el bisel a mano.
- Efectuar perforaciones y entalladuras.

Desbaste manual

El desbaste manual es la rotura y separación de pequeñas partículas de vidrio con ayuda de las tenazas de desbaste para darle al vidrio una primera forma, con lo que se acorta el tiempo de biselado.

Herramienta

Se desbasta con ayuda de las tenazas de desbaste, cuyas superficies en la boca son especialmente anchas.

Las mordazas están estriadas en cruz para que no resbalen tan fácilmente del vidrio. Como las superficies de la boca se desgastan con relativa rapidez, son preferibles unas mordazas recambiables.

Técnica de trabajo

Durante el primer desbaste manual se aguanta la lente con la cara cóncava hacia arriba y entre el pulgar (arriba) y el dedo índice (abajo). El borde del vidrio sólo debería sobresalir un poco. El dedo índice se puede utilizar como ayuda para la colocación de las tenazas.

Se agarran 1-2 mm del borde de la lente con una esquina de la boca (de las tenazas) sin gran presión, y entonces se giran las tenazas hacia abajo.

La consecuencia son tensiones de tracción y compresión en el vidrio, que finalmente hacen que se rompa; un trocito de vidrio se desprende.

En un desbaste manual correcto, se forma un canto afilado, que se puede agarrar y seguir desbastando fácilmente.

El error principal es el de querer pellizcar el vidrio. El resultado es un canto no afilado, haciéndose más difícil el desbaste.

De un canto así, poco afilado, es más fácil obtener un canto de desbaste afilado, humedeciendo las superficies de la boca y añadiendo polvo de vidrio.

El humedecimiento de las mordazas se debería utilizar regularmente en el caso de lentes fuertemente negativas.

Indicaciones para el trabajo

- Este primer desbaste manual se deberá hacer hasta un tamaño aproximado 1 mm mayor a la forma final.
- Un borde limpio y con cantos afilados, sin muescas, se consigue rompiendo y no cortando el borde de la lente.

Cortar

El segundo método para acercarse rápidamente a la forma de la montura requerida, es el corte.

En el corte se aprovecha la fragilidad del vidrio, para cortar la lente a su forma exacta.

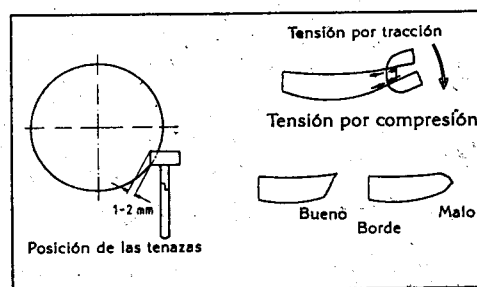


Fig. 1. Primer desbaste manual

Herramienta de corte

Como herramienta se utiliza la llamada rulina de acero endurecido o metal duro en la llamada cuchara de corte.

La punta de la rulina se apoya perpendicularmente a la cara interna del vidrio. Sin mucha fuerza se genera una elevada tensión por compresión debido a la muy pequeña superficie de apoyo.

Técnica de cortar el vidrio

Este proceso se divide en dos etapas:

1. corte con la rulina
2. separación con las tenazas.

La resistencia a la comprobación del vidrio es de aproximadamente 500-700 N/mm; en caso de tensiones mayores, se producen rajadas en el vidrio.

La raja principal es una prolongación rectilínea en la rulina penetrando bastante profundamente dentro del vidrio. En la superficie se forman dos rajadas secundarias.

En el proceso de separación se ha de prolongar la raja principal hasta la segunda superficie de la lente. Esto se consigue arrancando con las tenazas. A menudo es suficiente con unos golpes a lo largo del corte, porque dentro de la ranura de corte queda atrapado polvo de vidrio.

Es importante separar inmediatamente después de cortar, porque las tensiones producidas por el corte desaparecen con el tiempo.

Generalmente se corta en la cara interior —menos curvada— de la lente. Pero lentes fuertemente negativas también se pueden cortar por su cara exterior.

Indicaciones para el trabajo

- Apoyar siempre la punta de la rulina perpendicular a la superficie de la lente.
- Mantener una presión uniforme.
- Se debe cortar en todas direcciones un tamaño aproximado de 1 mm mayor al tamaño final deseado.
- Nunca cortar por segunda vez en el mismo sitio.

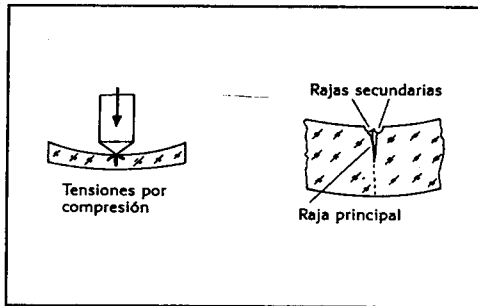


Fig. 2.

Corte del bisel a mano

A las lentes desbastadas se les talla un determinado bisel para poderlas montar en la gafa.

Tipos de biseles:

- bisel en punta.
- bisel plano.

Un bisel en punta debe cumplir las siguientes condiciones:

- el ángulo del bisel debe ser de 120 grados.
- el bisel debe ser recto en sí mismo.
- el bisel debe estar libre de cantos e irregularidades.
- la posición del bisel dependerá del efecto de la lente.

1) El ángulo del bisel debe ser de 120 grados. Otros ángulos producirán una distribución irregular de la presión. Si el ángulo es menor que 120° habrá una elevada presión sobre la punta del bisel. Una consecuencia probable de esto son las muescas.

Si el ángulo es mayor que 120° , también habrá una elevada presión sobre el canto del bisel; se da la posibilidad de muescas en el borde.

2) El bisel debe ser recto en sí mismo. Ambas superficies del bisel deberían tener el mismo ángulo frente al plano de la montura.

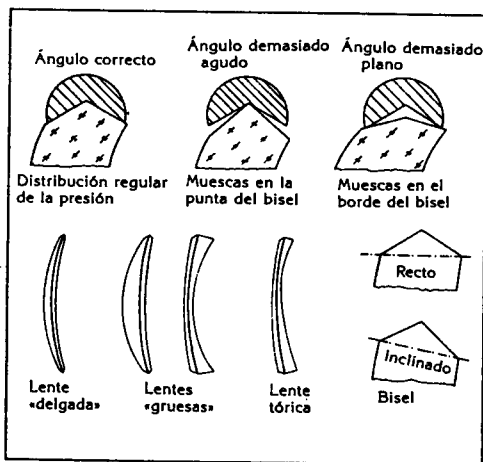


Fig. 3. Ángulos de posición de biseles

3) Biselado de la faceta libre de cantos e irregularidades. Durante el biselado, la lente se debería apoyar y desaparecer lo menos posible.

Los cantos son casi invisibles, si:

- se aumenta lentamente la presión sobre la lente después de apoyada
- se disminuye lentamente la presión antes de desayarla.

4) Posición del bisel. La posición del bisel depende de:
—el valor del efecto positivo o negativo
—una posible existencia de un efecto astigmático y/o prismático.

a/ Lentes delgadas de poca potencia.

En el caso de lentes delgadas, de poca potencia, el bisel debería estar en el centro de la lente.

b/ Lentes de elevada potencia con gran espesor de borde.

En el caso de lentes de elevada potencia de mayor espesor de borde se traslada el bisel hacia adelante, es decir, paralelo a la superficie anterior de la lente.

De esta manera, el borde más ancho del bisel que estéticamente no es bonito, sobresale hacia atrás.

Esta regla se debería diferenciar un poco en el caso de diámetros grandes y efectos positivos fuertes. Con un cumplimiento estricto de esta regla, la montura se curvaría muy fuertemente. Es aconsejable trasladar el bisel en dirección a la superficie de menor curvatura.

c/ Lentes tóricas

En el caso de lentes tóricas, se deja que el bisel siga más la superficie esférica. Se consigue un resultado estético mejor de la gafa y una buena sujeción de la lente.

d/ Lentes prismáticas

En el caso de lentes prismáticas se bisela la faceta, según RAL RG 915, de tal manera que:

- en lentes negativas la base sobresalga por delante.
- en lentes positivas la base sobresalga por detrás.

Pero por razones de calidad de imagen y de corrección de medida, el bisel debería ir, según DIN 58204, en casos de prismas elevados, en la superficie del lado del objeto, es decir, por delante.

Aplanado de los cantos

Los bordes del bisel se aplanan, para evitar bordes vivos y muescas. Para ello, se rompen los bordes a ambos lados, con igual anchura y bien visible, con un ángulo de 45° .

Bisel plano

Para gafas sin montura y monturas al aire, las lentes se hacen con un bisel plano.

Las exigencias a un bisel plano son, en principio, las mismas que para un bisel en punta.

1) Bisel plano con ángulo recto

La exactitud del ángulo del bisel plano se puede controlar fácilmente con un patrón de 90°

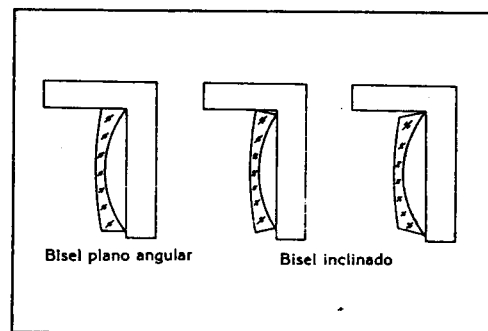


Fig. 4. Bisel plano

2) Bisel sin cantos ni irregularidades

Siempre hay que apoyar la lente con un mismo ángulo y sobre la anchura total. Para el control sirve la vía de agua entre la lente y el disco amolador; esta vía debe correr por encima de la anchura total del bisel.

3) Aplanado de los bordes

Los bordes se deberían aplanar ligeramente antes de cada medición con el pie de rey, porque se pueden dar muescas rápidamente.

Después del biselado a la medida deseada, se aplanan los bordes definitivamente.

Como orientación tómesese una medida de 0,5 mm de anchura con un ángulo de 45°. Las lentes que se sujetan con nylon pueden obtener bordes más inclinados. De esta manera se obtiene un bisel más ancho para el fresado de la ranura.

Taladrado de vidrio

En el taladrado de lentes se debe tener cuidadosamente en cuenta las características especiales del material vidrio, es decir, su dureza y fragilidad.

El taladrado es, de manera similar al biselado, un trabajo puramente de rascado del material y no una actividad con arranque de viruta.

La broca para vidrio consta generalmente de una cápsula de latón que está equipado con una punta de metal duro o de diamante.

El ángulo de la punta es de aproximadamente 80-100 grados. El número de revoluciones para el taladro más utilizado de 2 mm de \varnothing debería ser de 2.500 a 3.500 por minuto.

Refrigeración del taladro de vidrio

El taladro nunca debe funcionar en seco, sino que debe estar constantemente refrigerado o engrasado.

Como emulsión se utiliza una mezcla de trementina con 10 % de adición de alcanfor y algo de petróleo.

Indicaciones para el trabajo

- Marcar el agujero a taladrar.
- Ajustar la taladradora al número de revoluciones correcto y al centro y profundidad de perforación.
- Empezar a taladrar, controlar el centrado.
- Taladrar aproximándose hasta la mitad. ¡No perforar por completo!
- Dar la vuelta a la lente y centrar con cuidado, para evitar una perforación descentrada
- No perforar completamente porque la lente se ladea fácilmente. La consecuencia sería la rotura del taladro o de la lente.
- Es mejor hacer la rotura completa para unir las dos perforaciones, con la lima de aduja.
- Taladrar con avance lento y escalonadamente.
- Poner a menudo refrigerante.
- Avellanar los cantos del agujero con una muela de bastón cónica de carburo de silicio.

Entalladuras

Las gafas montadas al aire se pueden sujetar no sólo con

un hilo de nylon, sino que también con ganchos cortos de metal.

Estos ganchos se colocan en entalladuras hechas en la lente. Para hacer estas entalladuras han dado muy buen resultado las limas de aguja de diamante.

Acoplamiento

En el acoplamiento se unen dos o más piezas entre sí. Con el acoplamiento —a menudo también llamado unión— se consigue la unión entre las piezas, obteniendo una unión en un punto determinado y aumentando la consistencia en general.

(DIN 8593)

En las uniones se diferencian varios métodos de acoplamiento según los distintos principios de acción físicos:

- Unión de forma, actúa por fuerzas de cortadura.
- Unión de fuerza, actúa por rozamiento.
- Unión de materiales, actúa por fuerzas de cohesión y adhesión.

Las uniones de acoplamiento también se subdividen en: Uniones fijas y móviles.

Uniones móviles permiten el movimiento de piezas unidas, una frente a la otra, dentro de límites determinados (ejemplo: articulaciones, charnelas, husillos roscados de tornillos de ajuste).

Uniones fijas no permiten el movimiento de las piezas entre sí.

El elemento de unión asegura su posición invariable (tabla I).

Las uniones de acoplamiento fijas también se subdividen en:

- Uniones separables-no separables.
- Uniones separables se pueden volver a separar sin destruir el elemento de unión o las piezas unidas; todas las piezas se pueden volver a utilizar.
- Uniones no separables sólo se pueden romper destruyendo el elemento de unión de las piezas, pero proporcionan una mayor seguridad contra una separación indeseada.

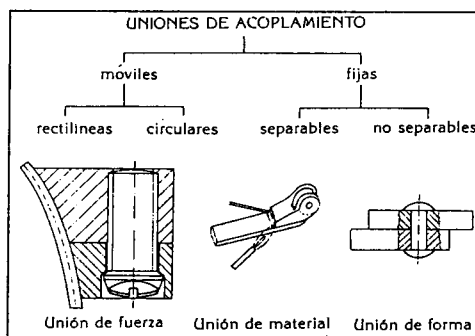


Fig. 5. Clasificación de los métodos de acoplamiento

Unión atornillada

Con el atornillado se obtienen uniones de separación posible, en las que actúan conjuntamente la unión de fuerza y la unión de forma.

Tabla I. Resumen de los métodos de acoplamiento

Unión por:	Principio de acción	Método
Unión de forma	Entrelazados mecánicos de formas geométricas de las piezas	Remachar
Unión de fuerza	Fuerzas de rozamiento entre las superficies de las piezas a unir	Atornillar
Unión de material	Fuerzas moleculares (cohesión, adhesión) entre las piezas a unir	Soldar pegar

Una unión atornillada está formada por:

- tornillo con rosca exterior
- tuerca con rosca interior
- posible arandela.

La unión también se puede hacer de tal manera que no sean necesarios todos los elementos. Ejemplo: charnela con rosca interior tallada, dentro de una hembrilla.

Mecánica y fuerzas de una unión atornillada

Con el apretado de la tuerca se aprietan las partes a unir (piezas) en sus superficies de contacto. El resultado es una unión por fuerza.

Los filetes del tornillo y de la tuerca se entrelazan y se obtiene en los flancos adyacentes de las roscas, una unión de forma. Con el apretado del tornillo y la rosca se forma en los filetes una unión de fuerza.

Si se intenta desplazar a la fuerza las piezas unidas una frente a otra, contraactúan las formas externas del tornillo y la perforación. Se obtiene una unión de forma.

Para poder entender bien las fuerzas en una unión atornillada, se ha de explicar un poco la estructura y el efecto de la rosca.

Una rosca es comparable a una escalera de caracol. Al utilizar una escalera de este tipo, uno se mueve:

- 1) circularmente alrededor de un eje central
- 2) se sube hasta una altura determinada.

Si se resumen ambos movimientos se obtiene una línea de ascensión constante, la llamada espiral.

Una línea de ascensión regular sobre la superficie lateral de un cuerpo cilíndrico se denomina espiral.

Si se despliega esta parte lateral del cilindro, desde la base hasta la espiral, se obtiene un triángulo de ángulo recto. La altura del triángulo es igual a la altura después de una rotación y que en la rosca se denomina paso. La espiral desdoblada corresponde a un paso inclinado.

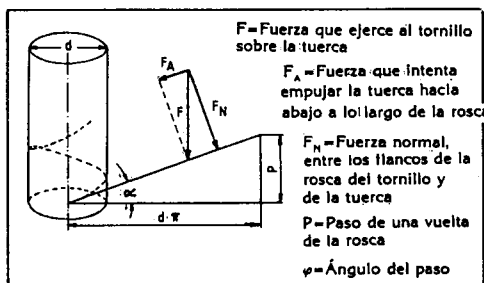


Fig. 6. Desdoble de un tornillo y fuerzas

Cuando se aprieta un tornillo con un destornillador o con una llave se ejerce sobre la rosca una fuerza F . Esta se puede descomponer en la fuerza normal F_N y en la llamada fuerza de empuje F_A .

La fuerza F_A intenta empujar la tuerca atornillada a lo largo de la rosca. Esto sólo lo consigue, cuando F_A es mayor que el rozamiento entre los flancos de las roscas de la tuerca y el tornillo. La fuerza normal F_N aprieta estos flancos de las roscas unos contra otros.

Según el tamaño del paso de la rosca se han de distinguir dos casos:

1) En el caso de un paso de rosca pequeño la fuerza F_A es pequeña y la fuerza normal F_N grande. Debido al fuerte rozamiento en los filetes, la rosca no puede separarse por sí sola.

Actúa de forma autofrenable y es una rosca de fijación.

2) En el caso de un paso de rosca grande, por el contrario, la fuerza F_A es pequeña. Debido al escaso rozamiento, la rosca puede separarse por sí sola.

No es autofrenable y es una rosca de movimiento. Las roscas de fijación son autofrenables. Tienen ángulos de paso pequeños.

Las roscas de movimiento no son autofrenables o sólo escasamente. Tienen ángulos de paso grandes.

Por regla general es válido:

Roscas con ángulo de paso menor que 6° son autofrenables.

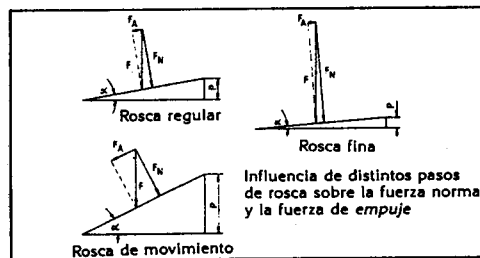


Fig. 7. Paso en distintas roscas

Para roscas de fijación y roscas de movimiento, son usuales no sólo distintos ángulos de paso, sino que también distintos perfiles de filete.

Perfiles de filete

La forma de un perfil de filete se determina según su finalidad de empleo.

Roscas de fijación

Para roscas de fijación se utilizan sobre todo roscas triangulares. Tienen, para un paso de rosca escaso, una profundidad de filete suficientemente grande. El escaso paso de filete tiene como consecuencia una fuerza normal grande y es autofrenable. En los flancos fuertemente inclinados de la rosca, con un ángulo de flanco de 60° , se presenta un aumento adicional de la fuerza normal debido a una descomposición de fuerzas; al mismo tiempo aumenta su autofrenabilidad.

Roscas de fijación tienen perfiles triangulares. Las consecuencias:

- ángulos de paso pequeños
- ángulos de flanco grandes
- fuerzas de rozamiento elevadas.

Roscas de movimiento

Como roscas de movimiento se utilizan sobre todo roscas trapezoidales; en el caso de elevados esfuerzos en sólo una dirección axial, también se utilizan roscas con dientes de sierra.

Roscas trapezoidales se pueden fabricar con un paso de rosca grande y una escasa profundidad de rosca.

Esto conduce a fuerzas normales pequeñas y fuerzas de rozamiento pequeñas.

Roscas trapezoidales y roscas con dientes de sierra tienen ángulos de los flancos pequeños de 30° , en los que el aumento de la fuerza normal es escasa.

Roscas de movimiento tienen perfiles trapezoidales o con dientes de sierra. Esto significa:

- ángulos de paso grandes
- ángulos de flanco pequeños
- fuerzas de rozamiento pequeñas.

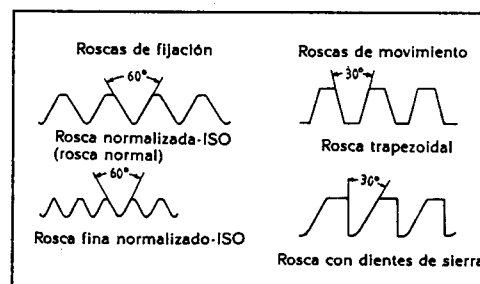


Fig. 8. Tipos de rosca

Tecnología para ópticos

Heiner Bohn

Traducio y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa.

Uniones atornilladas y remachadas

Normas de roscas

Roscas de fijación	Abreviatura normalizada (ejemplos)
Rosca métrica ISO, DIN 13	M 1,4
Rosca más usual —Rosca regular—	M 2,0
Rosca fina métrica ISO, DIN 13	M 6,0
Tiene un paso menor que la rosca regular	M 10×1
Consecuencia: autofranjabilidad mayor de la roca regular.	El paso de la de 1 mm en vez de 1,5 mm

Roscas de movimiento	Abreviatura normalizada (ejemplos)
Rosca trapezoidal DIN 103	Tr 16×4
Rosca para esfuerzos/cargas de distinta magnitud en la dirección axial. Ejemplo: tornillo de ajuste.	
Husillo de avance para máquinas	Tr 40×7
Rosca con dientes de sierra, DIN 513	S 22×5
Rosca para esfuerzos grandes en una dirección axial (prensar)	S 36×6

Medidas de rosca

Para el múltiple empleo de uniones atornilladas, las roscas deben ser intercambiables. Por eso todas las medidas de rosca están normalizadas.

Para poder atornillar fácilmente un tornillo con rosca exterior en una tuerca con rosca interior, debe existir juego entre ambos. Las medidas correspondientes de una rosca interior son, por tanto, mayores que las de la rosca exterior atornillada.

Para la diferenciación, todos los símbolos de medida de roscas interiores se indican con letras mayúsculas y todos los símbolos de medida de roscas exteriores se indican con letras minúsculas.

Las medidas de rosca más importantes son:

Diámetro de la rosca o nominal (D y d).

EL diámetro nominal es el diámetro exterior de la rosca. Se puede medir fácilmente en la rosca exterior con el pie de rey. Ejemplo: M3=3 mm de diámetro exterior.

Diámetro del núcleo (D1 y d3)

En la rosca exterior: diámetro de la sección transversal restante.

En la rosca interior: aproximadamente el diámetro de agujero a taladrar previamente.

Paso (P)

Distancia de un filete a otro.

Profundidad de filete/rosca (H1 y h3)

La profundidad de filete indica hasta que profundidad penetra el perfil de la rosca en el material.

Ángulo del flanco: ángulo entre los flancos de la rosca.

Para todas las roscas métricas ISO es de 60: (tabla I y fig. 1).

Tabla I.

	Diámetro nominal	Diámetro del núcleo	Paso	Profundidad de filete
M 1	1,0	0,693	0,25	0,153
M 1,2	1,2	0,793	0,25	0,153
M 1,4	1,4	1,032	0,3	0,184
M 1,6	1,6	1,17	0,35	0,215
M 2	2,0	1,509	0,4	0,245
M 3	3,0	2,387	0,5	0,307
M 4	4,0	3,141	0,7	0,429

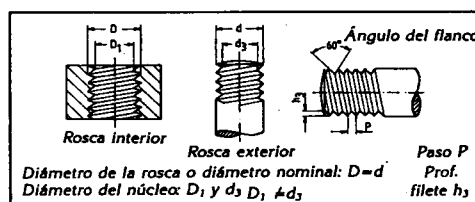


Fig. 1 Medidas de roscas

Formas de tornillos

Los tornillos también se denominan según la forma de su cabeza.

En la óptica son usuales:

—Tornillo de cabeza cilíndrica, como tornillos avellanados con cabeza pequeña en cierres (del aro) y charnelas.

—Tornillo de cabeza de lenteja, con cabeza mayor, en charnelas.

—Tornillo avellanado gota de sebo, para gafas al aire y plaquetas.

—Tornillo prisionero para talones y como tornillo de seguridad (fig. 2).

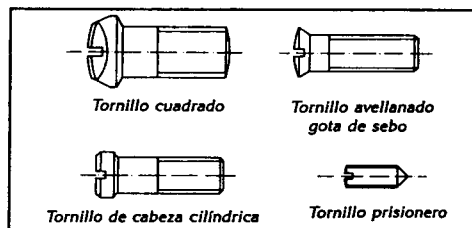


Fig. 2 Formas de tornillos y de cabezas de tornillos

Indicaciones para el trabajo-fabricación de la unión atornillada

En la fabricación correcta de una unión atornillada se han de cumplir básicamente cuatro condiciones:

- perforaciones alineadas (agujeros de charnelas)
- un correcto apretado de la unión
- utilización de un atornillador adecuado
- aseguración de la unión.

Perforaciones alineadas

Si las perforaciones no se encuentran sobre un eje, es decir, si las anillas de la charnela están torcidas, el tornillo se incinará al atornillarlo y romperá la rosca.

Antes de atornillar se han de enderezar las charnelas torcidas. Si esto no es posible, como en la pinza 9 de ajuste de una gafa al aire, se ha de recortar la rosca.

Correcto apretado de la unión atornillada

Un tornillo apretado lo bastante fuerte, representa también un buen aseguramiento del tornillo. Pero si el tornillo se aprieta demasiado, se puede romper o destruir la rosca.

Al apretar el tornillo, la gafa debería estar siempre apoyada sobre el bloque de madera. Al atornillar a pulso, el destornillador resbala fácilmente, hiriendo la mano o dañando la gafa y la cabeza del tornillo.

Utilización de un destornillador adecuado

La punta del atornillador debe ser igual de ancha que la cabeza del tornillo y debería llenar completamente todo el ancho de la ranura del tornillo.

Destornilladores no adecuados dañan la cabeza del tornillo y dificultan un posterior desatornillado (fig. 3).

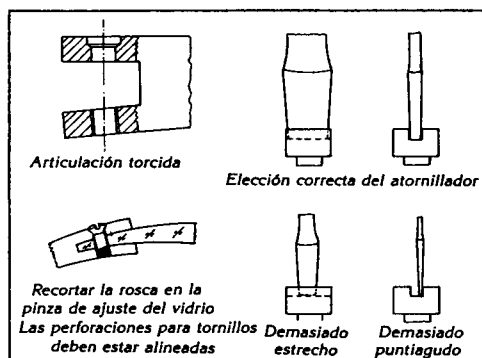


Fig. 3 Obtención de uniones atornilladas

Como asegurar las uniones atornilladas

Son usuales las siguientes técnicas para asegurar las uniones:

- contratuercas
- granetear
- tornillos prisioneros
- tuercas autofrenables
- aseguración por pegado
- tornillos recubiertos autofrenables

Sobre todo en gafas para la lectura, que se quitan a menudo y cuyas varillas se mueven mucho, el tornillo de la

charnela se afloja fácilmente. El tornillo aflojado se sale y el frente y la varilla quedan separados. Por esta razón, se han de asegurar los tornillos de las charnelas, pero también los tornillos de cierre de aro en las gafas metálicas, que a menudo llevan cristales caros.

Asegurar con contratuerca

Al apretar una unión atornillada con una tuerca y una contratuerca, se producen entre los flancos de la rosca del tornillo y la tuerca, pero también en sus superficies de contacto, fuerzas de rozamiento mayores. Se produce un aseguramiento por unión de fuerza que no corresponde a exigencias muy elevadas, pero que se puede obtener de forma rápida y sencilla.

Asegurar por graneteado

Con un golpe con el granete o utilizando las tenazas de graneteado, se deforma el final del tornillo. Sobresaldrá entonces por encima del borde de la rosca hembra y evita así un desenroscado del tornillo.

Además se aprieta el material dentro de los filetes de la rosca y se aprisiona el tornillo. Se trata de una unión de fuerza que se puede aflojar pero no separar.

Asegurar con tornillo prisionero

Para asegurar el tornillo de cierre de aro en el borde de la lente en monturas metálicas, se utiliza a veces un tornillo prisionero. Aprisiona el tornillo en la rosca.

También hay tornillos de cierre con formas de cabeza especiales que se pueden asegurar por deformamiento (fig. 4).

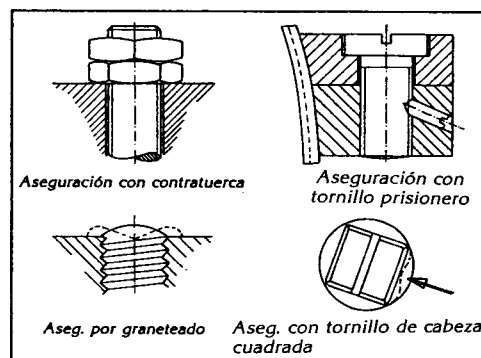


Fig. 4 Diversas formas de asegurar los tornillos

Tuercas autofrenables

Estas tuercas tienen un revestimiento de plástico que compensa la disminución de la tensión en la unión atornillada con su elasticidad.

Además el material que las asegura tiene un efecto de agarrotamiento tan fuerte que, en general, el tornillo no puede salirse.

¡Importante! Este tipo de tuercas aseguradoras sólo se deberían emplear una vez. Después de su uso, el plástico está tan deformado o aplastado, que el aseguramiento no está garantizado.

Asegurar por pegado

De forma parecida actúan aseguramientos con colas especiales (Loctite,...).

Este material sintético líquido se endurece al aire. El método da tan buenos resultados que también se puede utilizar para discos de frenos de vehículos.

Como asegurar el cierre del arco

El aseguramiento del tornillo del cierre se puede hacer básicamente con los mismos métodos, como el descrito para el tornillo de la charnela. Son nuevos unos experimentos de los fabricantes de monturas, para conseguir con una serie de medidas, unir fuertemente el cierre del aro. Por ejemplo, cambiando la forma de la parte superior e inferior del cierre de manera que, gracias a su configuración, esté asegurado frente al girado.

Además, el tornillo no agarra directamente el material del bloque, sino que se inserta un manguito, de tal tamaño, que sea imposible un desplazamiento de las piezas del cierre entre sí.

Finalmente, se emplea como material para el tornillo y el manguito acero fino, llevando el tornillo un recubrimiento y siendo autofrenable. Pero esta medida no está comprobada.

Un tornillo dañado, de la manera que sea, es prácticamente imposible de sacar, antes se saca todo el bloque.

Una posibilidad, fácil de realizar, es la de no hacer la cabeza del tornillo redonda, sino cuadrada. Este diseño tiene la ventaja de poder deformar ligeramente el cierre y apretar la cabeza del tornillo por un lado. Un giro de la cabeza del tornillo está así casi descartada (fig. 5).

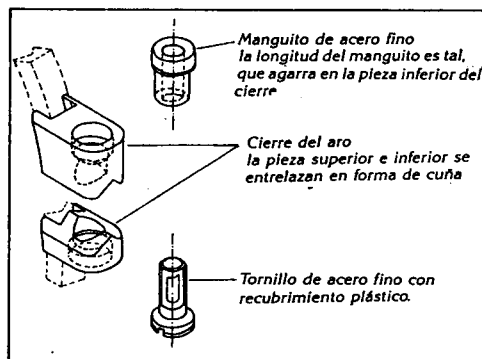


Fig. 5 Construcción de un cierre asegurado

Uniones remachadas

Las uniones con remaches sirven para obtener una unión inseparable de piezas de igual o distinto material.

La unión se denomina inseparable porque no se puede separar sin destruir el remache.

En el remachado se introduce el remache en la perforación de las piezas a unir y se forma la cabeza remachada por aplastamiento del vástago que sobresale.

Designaciones en el remache

El remache terminado está formado por:

- cabeza del remache
- vástago
- cabeza remachada.

La designación del remache indica a menudo la forma de la cabeza del remache. Se diferencian:

- remache de cabeza redonda
- remache de cabeza avellanada
- remache de adorno (fig. 6).

En el taller óptico se utiliza el remache sobre todo para la fijación de charnelas en monturas de material sintético.

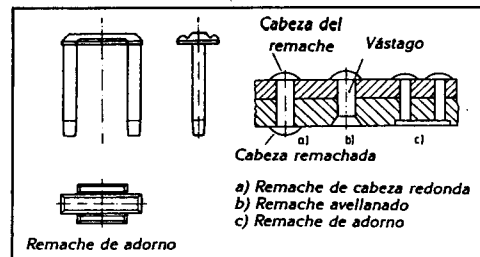


Fig. 6 Designaciones en el remache y formas de las cabezas remachadas

A menudo se trata de un remache doble, cuya cabeza es de plata nueva o de chapa con estaño, según la moda. El vástago del remache es, en cualquier caso, cilíndrico.

Esfuerzo sometido a la unión remachada

En el taller óptico el remache se golpea en frío. (En contraste con el remache golpeado en caliente usado en construcción de grúas, calderas...).

Con el remachado en frío se obtienen una unión de fuerza escasa. Las fuerzas presentes en la unión las transmite, sobre todo, el vástago del remache por unión de forma.

El remache golpeado en frío es sometido sobre todo al esfuerzo de cizalladura.

De esto resulta como consecuencia que la calidad de la unión remachada depende de una perforación exactamente alineada y de un cuidadoso desbarbado (fig. 7).

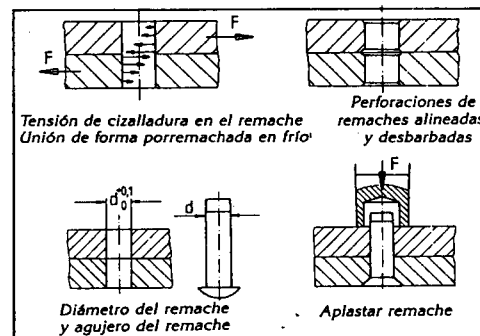


Fig. 7 Tensión en el remache y trabajos de remachado

Obtención de una unión por remachado en frío

1) Taladrar los agujeros de remache y desbarbado

Como el remache se ve sometido, sobre todo, a un esfuerzo de cizalladura, el diámetro de la perforación debería corresponder exactamente con el diámetro del remache.

¡Como máximo está permitido un aumento de 1/10 mm! Los agujeros de remache deben estar perfectamente alineados. Por eso es aconsejable perforar ambas piezas al mismo tiempo.

Las perforaciones se deben desbarbar cuidadosamente para que en el remache terminado no tenga lugar un efecto de entalladura. Restos de rebaba del perforado podrían impedir un apoyo plano del remache.

Introducir el remache y limar el vástago

Presionar fuertemente las piezas una contra la otra sin dejar espacio entre ellas.

La parte del vástago que sobresalga debe tener una dimensión tal que permita obtener una buena cabeza remachada. Esta dimensión depende de la forma de la cabeza remachada (ver figura 7):

- para cabeza remachada redonda $z = 1,5 \times \text{diámetro}$
- para cabeza remachada avellanada $z = 0,75 \times \text{diámetro}$.

El vástago que sobresalga se deberá limar recto porque sino se obtendría una cabeza de remache torcida.

3) Aplastamiento del remache

Con un ligero golpe de martillo sobre el vástago limado, el vástago deberá llenar toda la perforación. El remache obtiene un primer encaje.

4) Formación de la cabeza con juego remachador o «clavulus»

Para formar la cabeza se ha de elegir la embutidora correcta; su tamaño depende del diámetro del remache. Embutidoras demasiado pequeñas chafan partes de los vástagos dejando un borde feo; embutidoras demasiado grandes no terminan de formar la cabeza completamente. La embutidora se ha de mantener perpendicular (fig. 8).

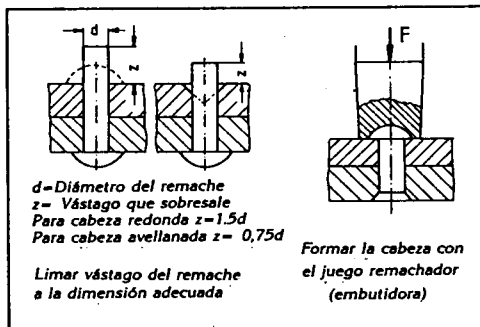


Fig. 8 Trabajos de remachado

Errores en el remachado

Las mayores posibilidades de error se dan en el momento de hacer la perforación. Puede ocurrir:

— Una perforación torcida. La cabeza del remache se desplaza a un lado. El remachado no queda bonito, la durabilidad queda algo disminuida.

— Perforaciones no alineadas. Se debe introducir un remache demasiado delgado, consecuencia: cuando es sometido a un esfuerzo, el remachado se desdobra. La charnela queda floja, muy insegura. Remedio: hacer una perforación común mayor.

— Perforación demasiado grande. El vástago del remache no llena la perforación. Consecuencia: no se obtienen una unión (en arrastre) de forma (fig. 9).

— Perforación no desbarbada. Consecuencia: apoyo no plano, charnela floja.

— Otros errores son: cabezas remachadas no conformadas completamente, remaches apretados demasiado fuertes o demasiado flojos,...

Uniones soldadas

La soldadura es la unión de metales calentados que permanecen en estado sólido por materiales metálicos adicionales fundidos (soldaduras).

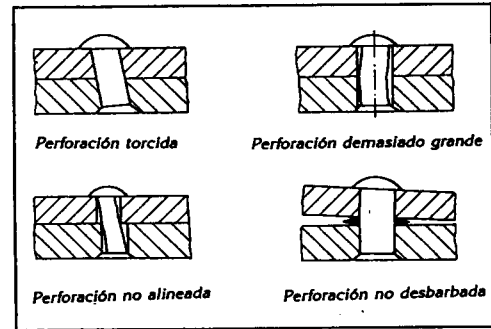


Fig. 9 Errores en el remachado

La soldadura es un método de acoplamiento no separable por unión de material. Es característico en el proceso de soldadura que sólo se funde la soldadura.

El punto de fusión de la soldadura siempre está por debajo del punto de fusión de los metales a unir. Durante la soldadura sólo aparecen escasas variaciones de estructura y tensiones térmicas debido a estas temperaturas más bajas. Así se evita la deformación de las piezas.

En el taller óptico la soldadura tiene su tradicional razón de ser en la obtención y reparación de monturas metálicas. Las piezas pueden ser de metales distintos; por ejemplo, soldar una charnela de planta nueva sobre una varilla de bronce.

Fuera de la óptica se emplea la soldadura en la construcción de cuadros (de acero) para bicicletas, piezas de carrocería y piezas para construcciones ligeras. Por soldadura se fabrican, de forma sencilla, latas herméticas, tuberías y radiadores.

En la electrotecnia se aprovecha la buena conductividad eléctrica del punto de soldadura; las conexiones de cables y las piezas electrónicas se unen a menudo por soldadura.

Tecnología de la soldadura

El proceso de soldadura tiene lugar en tres etapas:

- Mojado
- Fluido
- Unión

1) Mojado

A una temperatura menor de la de trabajo, la soldadura es sólida; en su punto de fusión se funde, se hace líquida y forma perlas.

Al alcanzar la temperatura de trabajo, la soldadura se extiende sobre la pieza de trabajo, desplaza el fundente.

La superficie metálica limpia de la pieza se moja.

2) Fluido

Por efecto capilar, la soldadura fluye a todos los lugares, en los que, debido a las temperaturas de trabajo reinantes, ha tenido lugar un mojado. Los mejores resultados de fluido se obtienen con separaciones de 0,1 a 0,2 mm (fig. 10).

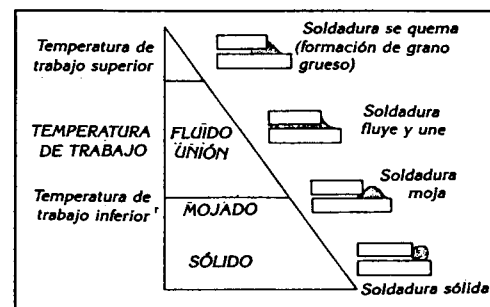


Fig. 10 Proceso de soldadura y temperatura de trabajo

Tecnología para Ópticos

Heiner Bohn

Traducido y adaptado por Ingrid Pascual y Joan Salvadó de la Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa

Uniones soldadas

Unión

Durante la unión la soldadura penetra en la estructura del material y se alea con él. Entre la soldadura líquida y el material base sólido tienen lugar procesos de difusión.

Soldadura y material base penetran entre sí en las superficies limitantes. Se obtiene una unión con una formación parcial de aleación. Cuanto mayor sea esta formación de aleación, más fuerte será la unión entre las piezas una vez enfriadas.

Este comportamiento de aleación y difusión es la base de toda la técnica de soldadura. De esto se deducen todas las exigencias a soldaduras, fundentes y fuentes de calor. (fig. 1)

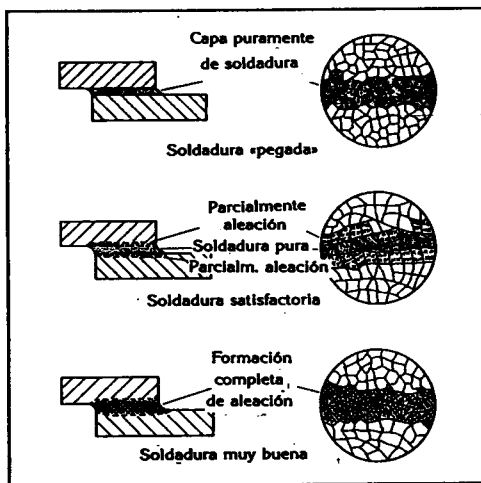


Fig. 1. Calidad de una unión soldada.

Por investigaciones metalúrgicas con micrografías y ensayos metalográficos, se puede demostrar hoy en día que componentes de la soldadura se difunden en el material de base, así como al revés.

Este hecho también explica la razón por la que la soldadura se clasifica dentro de las uniones de material inseparables. Aunque por calentamiento se puede separar una unión soldada, no es posible volver a colocar los elementos de la soldadura y del material base que se han difundido a su posición original. Por tanto, una soldadura no es completamente reversible.

Resistencia de una unión soldada

Según lo dicho anteriormente, el punto de soldadura obtiene su resistencia por la zona de difusión entre soldadura y metal base. La obtención de una zona de difusión buena depende principalmente de cuatro factores:

- Temperatura de soldadura.
- Tipo de soldadura (y también tipo de material base).
- Separación y relleno capilar.
- Fundente.

1) Influencia de la temperatura de soldado

Una soldadura impecable exige la temperatura correcta. La temperatura más baja a la que la soldadura puede fluir y unirse con el material base se denomina temperatura de trabajo. Esta depende de la composición de la soldadura y se encuentra dentro de la zona de fusión de la soldadura o escasamente por encima. La temperatura de trabajo de la soldadura, L-Ag 40 Cd, normalmente empleada por el óptico, es de 610 grados centígrados.

La temperatura de soldado también está limitada por arriba. Nunca debe ser tan alta que pueda dañar componentes de la soldadura o de la pieza de trabajo.

Después del fluido de la soldadura, la temperatura de soldado todavía se debería mantener unos segundos para que pueda tener lugar la aleación.

Si la temperatura es demasiado baja, la soldadura se funde, pero no moja ni fluye, ni une. El punto de soldadura está pegado. (fig. 2).

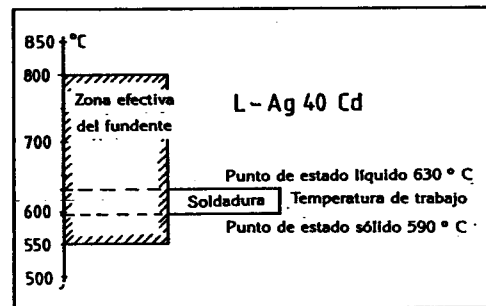


Fig. 2. Temperatura de trabajo de la soldadura de plata L-Ag 40 Cd.

2) El tipo de soldadura

La influencia del tipo de soldadura en la soldadura de reparación de plata nueva es de poca importancia porque la resistencia de una soldadura de L-Ag 40 Cd completamente aleada siempre estará al mismo nivel que la resistencia de la plata nueva. Por tanto, no tiene sentido intentar aumentar la resistencia con la elección de otra soldadura.

Además, la discusión teórica muestra que soldaduras de mayor resistencia también necesitan temperaturas de trabajo mayores que se acercan peligrosamente al límite de tolerancia térmica de la plata nueva, entre los 750 y 800 grados centígrados aproximadamente.

3) Influencia del efecto capilar (separación)

La separación es la segunda magnitud importante en la que el óptico puede influir al hacer una soldadura y para obtener un resultado más o menos bueno. Para poder aprovechar completamente las buenas propiedades de fluidez de la soldadura, es necesaria una determinada separación entre ambas piezas de trabajo.

Se ha comprobado que una separación óptima es de 0,1 a 0,2 mm, en la que, por efecto de aspiración de los capilares, la soldadura penetra en la separación. (fig. 3).

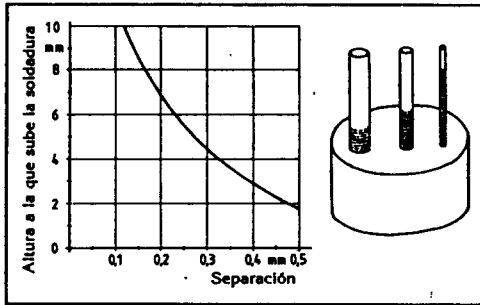


Fig. 3. Altura de subida de la soldadura en estrechas hendiduras y tubos debido a la presión capilar.

En una de estas soldaduras óptimas, la soldadura fluida se alea completamente con ambas piezas de trabajo, no queda ninguna capa puramente de soldadura.

Cuando se forma una zona de difusión muy buena, la resistencia que se puede obtener de la soldadura es similar a la resistencia del mismo material de la pieza; es decir, para la plata nueva está entre los 400 y 500 N/mm².

Si la separación entre las piezas es demasiado pequeña, la soldadura no rellena, debido a su viscosidad, toda la separación. La resistencia de la soldadura disminuye fuertemente debido a estos errores.

Si la separación es de 0,2 a 0,5 mm, la presión capilar todavía es suficiente para una buena distribución de la soldadura. Pero la resistencia de la soldadura disminuye porque, debido a una insuficiente difusión, queda una capa puramente de soldadura, cuya resistencia es sólo de aproximadamente 100 N/mm².

Si la separación es mayor de 0,5 mm, la soldadura ya no fluye por el efecto capilar sino que se extenderá por movimiento térmico. Una soldadura de este tipo es inservible.

Además, es de importancia fijar las piezas de tal manera que las superficies de unión estén alineadas paralelamente. ¡La separación debe ser la misma en todos los puntos! (fig. 4).

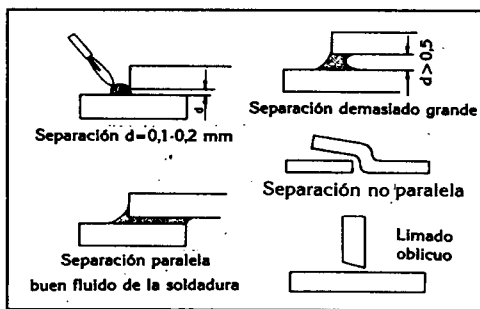


Fig. 4. Separación: anchura y paralelismo.

Fundentes

Los fundentes tienen las siguientes funciones:

- Eliminación de óxidos de metal por reacciones químicas.
- Impedir una nueva formación de óxidos de metal.
- Aumenta la mojabilidad en el punto de soldadura. (fig. 5).

La difusión y la formación de aleación durante la soldadura solamente son posibles cuando las superficies de las

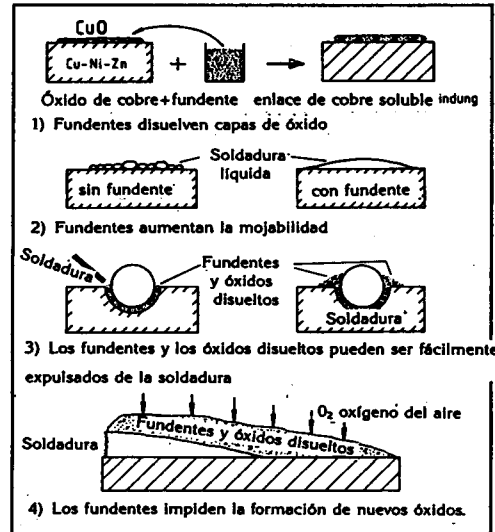


Fig. 5. Fundentes: efectos y funciones.

piezas están limpias y son puramente metálicas. Para esto, las piezas se deben limpiar mecánica y/o químicamente antes de ser soldadas. Es imprescindible que todos los restos de soldadura sean eliminados.

Restos de óxidos difíciles de eliminar químicamente son transformados, por reacciones químicas con fundentes, en compuestos que a la temperatura de trabajo son más fluidos y ligeros que la soldadura.

Durante la soldadura los compuestos de óxidos y fundentes flotan sobre la soldadura e impiden así una nueva formación de óxidos. La soldadura que fluye y moja los expulsa entonces de la zona de soldadura.

Todo fundente tiene un margen determinado de temperatura efectiva. Si se calienta demasiado, se quema y ya no recubre toda la zona a soldar.

Los fundentes no se deben calentar demasiado; como regla empírica es válida: después de 10 segundos pierden su efecto disolvente de óxidos.

Los fundentes se pueden obtener en forma líquida o pasta.

Bórax

- Un polvo blanco, compuesto por una mezcla de boro-ácido bórico.
- Se mezcla con agua.
- Temperatura efectiva de hasta 850 grados centígrados.
- Se infla al calentarlo.
- Su efecto como disolvente de óxidos es escaso.
- Se puede eliminar con ácido sulfúrico 10%.

Fluorona

- Líquido verde de sal de boro y fósforo.
- Temperatura efectiva de hasta 800 grados centígrados.
- No se infla.
- Su efecto como disolvente de óxidos es mayor que el de bórax.
- Adherencia relativamente mala en la zona de soldadura.
- Se ha de decapar con una solución ácida al 10%.

Degussa-Fundente H

- En forma de pasta.
- Temperatura efectiva de hasta 800 grados centígrados.
- No se infla.
- Tiene un efecto como disolvente de óxidos muy fuerte.
- Se adhiere bien.
- Se puede limpiar con agua caliente.

Importante: Todos los restos de fundentes se han de eliminar cuidadosamente porque atraen el agua y fomentan la corrosión.

Métodos de soldadura

Según la temperatura de trabajo se distingue entre soldadura blanda o soldadura fuerte.

Soldadura blanda

La temperatura de trabajo es inferior a los 450 grados centígrados. Hay poca difusión; solamente se forma una capa de aleación muy delgada (2-5 nm).

La resistencia alcanzable no es muy grande porque la misma soldadura blanda tiene escasa resistencia. Las uniones son sensibles al calor. Estas falsas soldaduras se usan en la construcción de carrocerías, la construcción de aparatos eléctricos y en fontanería.

Soldadura fuerte

La temperatura de trabajo está por encima de los 450 grados centígrados. Una costura hecha por soldadura fuerte puede transmitir fuerzas mayores. Fuera de la óptica, se utiliza la soldadura fuerte en la industria de joyas y en la construcción de vehículos, tuberías y herramientas. (tabla I)

Tabla I. Diferenciación entre soldadura blanda y fuerte según la temperatura de trabajo

	Soldadura blanda	Soldadura fuerte
Temperatura de trabajo:	120 ° C-450 ° C	450 ° C-1.100 ° C
Soldaduras:	Plomo-zinc	Soldaduras de cobre, estaño, plata, oro

Instrumentos para la obtención del calor para la soldadura

Las formas de soldar se dividen en:

- Soldadura eléctrica:
 - soldadura por resistencia,
 - soldadura por inducción.
- Soldadura con llama según el tipo de gas combustible:
 - hidrógeno/oxígeno,
 - propano/oxígeno,
 - butano/aire,
 - gas ciudad/aire.

Soldadura por inducción

- Método industrial de alta calidad, muy caro, muy rápido.
- Transmisión del calor por inducción eléctrica.
- Control de la temperatura de trabajo con sensores infrarrojos con una exactitud de una diferencia de pocos grados.

Soldadura por resistencia

- Calentamiento por resistencia eléctrica del metal.
- Intensidades de corriente elevadas, tensiones bajas.
- Toda la gafa es sometida a un esfuerzo térmico, lo que es una desventaja importante.

Soldadura con llama

La principal diferencia con los métodos más antiguos con propano, butano o gas ciudad y las técnicas de microsoldaduras, está en la temperatura de la llama y su composición química.

Instrumentos de propano con alimentación de oxígeno por soplado

La figura 6 muestra la composición de la llama y la distribución de temperatura. La temperatura de la llama de propano es relativamente baja y sólo puede emplearse técnicamente con la adición de oxígeno.

Pero esta adición de oxígeno disminuye la calidad de la soldadura porque el oxígeno, como elemento oxidante, se debería mantener siempre alejado de la zona de soldadura.

La temperatura más alta se encuentra en el centro del cono de la llama y es de aproximadamente 1.800 grados centígrados.

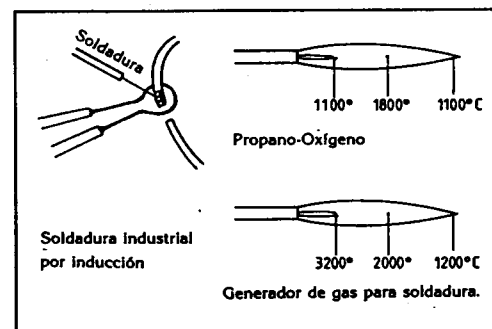


Fig. 6. Distribución de las temperaturas en la llama.

Generadores de gas para soldaduras con microquemadores

El gas con que se trabaja en el aparato de soldadura es el gas detonante que se obtiene por vía electrolítica por descomposición del agua. (Más correcta sería la denominación de microsoplete de soldadura, pues soldar significa la fusión de un material adicional, igual o muy parecido al material de base).

El gas detonante se quema sin la adición de oxígeno a, aproximadamente, 2.000-2.500 grados centígrados; si se añade oxígeno, la temperatura aumenta hasta unos 3.200-3.500 grados centígrados.

La temperatura más elevada se genera justo detrás de la boquilla, en la punta del pequeño cono de la llama de brillo verde pálido.

Todos los sopletes parasoldaduras de gas detonante (generadores de gas para soldaduras) trabajan según el principio de descomposición de Hoffman: el agua se descompone por la aplicación de una tensión eléctrica y el fluido de una corriente. En el polo positivo se desprende hidrógeno, en el negativo oxígeno.

Como el agua destilada casi no conduce la corriente, se añade potasa cáustica al electrolito. El gas detonante así obtenido contiene relativamente poco oxígeno, pero por desgracia algo de vapor de agua (condensado).

Para el secado del gas detonante son usuales los siguientes métodos:

- Secado por geles de silicato (minerales).
- Retención del condensado por ventilación.
- Hacer retroceder el condensado en el recipiente de electrólisis por una línea de cortocircuito.

Los instrumentos que se encuentran en el mercado utilizan dos o incluso las tres posibilidades.

Además, en casi todos los instrumentos se enriquece el gas mediante un baño de metanol y se añade fundente. El alcohol metílico tiene la función de reducir la cristalización del fundente.

Soldaduras fuertes

Para soldaduras de reparación de monturas de níquel y plata nueva, el óptico emplea soldaduras fuertes con plata y un bajo punto de fusión. La aleación que se usa más a menudo es L-Ag 40 Cd porque de todas las soldaduras de plata es la que tiene, con diferencia, la temperatura de trabajo más baja, de 610 ° C.

Los componentes de la soldadura son:

- Plata (Ag)= 40 %
- Cadmio (Cd)= 20 %
- Cobre (Cu)= 19 %
- Zinc (Zn)= 21 %

Estos componentes tienen los siguientes efectos:

— La plata hace disminuir la temperatura de trabajo sin hacer quebradiza ni la soldadura, ni el área a soldar. La plata mejora la calidad de la soldadura.

— El zinc disminuye la temperatura para soldar, pero conlleva un efecto de quebradización y pérdida de resistencia.

— El cadmio funciona como ablandador y evita la formación de perlas durante el fluido.

— El cobre aumenta la deformabilidad de la zona soldada.

Para la comparación: la soldadura L-Ag 30 Cd con 30 % de Ag, 30 % de Cu, 20 % Cd y 20 % Zn ya tiene una temperatura de trabajo de 680 ° C.

Otra ventaja es el estrecho intervalo de fusión del L-Ag 40 Cd de unos 40 ° C aproximadamente. Su punto de estado sólido está en 590 ° C, el punto de estado líquido en 630 ° C. Como el principio y el final de la fusión están tan juntos, no hay separación entre la masa fundida inicial y el residuo.

Soldaduras de oro

En la reparación de monturas chapadas en oro (doblé) o de oro, se ha de elegir una soldadura que se parezca tanto en el color como en la calidad al dorado de la montura.

Se emplean, principalmente, tres soldaduras:

- L-Au 333, 8Kt, temperatura de trabajo 640 ° C. Tono amarillento.
- L-Au 500, 12 Kt, temperatura de trabajo 680 ° C. Tono rosado.
- L-Au 585, 14 Kt, temperatura de trabajo 670 ° C. Tono amarillento.

Técnicas de trabajo de soldaduras fuertes

1) Preparación de la zona a soldar

Todas las piezas a unir deben ser matálicamente puras; todas las grasas, colorantes y óxidos se deben eliminar mecánica o químicamente.

En una soldadura de reparación es muy importante limpiar la zona para eliminar todos los viejos restos de soldadura (¡Difusión!). Cuando se emplean soluciones ácidas, se ha de tener en cuenta eliminarlas completamente después; de otra manera es seguro que la zona se oxidará.

La resistencia de una soldadura también viene determinada por el tamaño de la zona de unión. Siempre que sea posible, sin dañar la buena imagen de la gafa, se debería aplicar la soldadura a una superficie lo mayor posible.

Este punto es, naturalmente, problemático en el caso de las monturas para gafas, pero siempre es posible alcanzar una separación óptima de 0,2 mm y el paralelismo de las superficies a unir.

2) Aplicación de la soldadura y cantidad de soldadura

Están ampliamente extendidas estas tres variantes:

- a) Se fijan las piezas y se cubren con fundente. Durante el calentamiento se aplica el alambre de soldadura a la zona a soldar. Desventaja: la cantidad de soldadura es difícil de dosificar, a menudo se aplica demasiada soldadura.
- b) La soldadura sólo se aplica sobre una de las piezas. Se cubre esta pieza con fundente, se calienta y se aplica la cantidad de soldadura deseada. A continuación, se cubre la segunda pieza con fundente, se coloca y fija adecuadamente a la primera pieza. El siguiente segundo calentamiento hace fluir la soldadura entre ambas piezas y las une. Ventaja: es un método rápido. Desventaja: hay un doble calentamiento del material de base y de la soldadura. El ablandador cadmio generalmente se evaporará, consecuencia: mala fluidez de la soldadura.
- c) Soldadura por soldadura intercalada. (Un trozo de alambre de soldadura se aplana —0,2 mm— y se coloca entre las dos piezas. Luego se cubre con bastante fundente y se calienta con rapidez. Desventaja: preparación y fijación complicadas. Ventaja: una solución óptima con una cantidad de soldadura mínima.

3) Temperatura de soldado

Mientras en la industria, en la soldadura por inducción, el control de la temperatura de soldado lo llevan sensores de infrarrojo; el óptico tiene que usar sus propios ojos.

Para el material usual de plata nueva son válidas las siguientes indicaciones de temperatura y color:

- | | | | |
|-------------|---|-------------|------------------------------|
| Azul oscuro | = | 500 ° C | Primera percepción de color. |
| Rojo cereza | = | 580-620 ° C | Temperatura de trabajo. |

<i>Rojo claro-amarillo</i>	=	620-700 ° C	Máxima posibilidad de sobrepasar la temperatura de trabajo por pocos segundos.
<i>Amarillo claro</i>	=	700-800 ° C	El recubrimiento de fundente se rompe, algunos componentes de la soldadura se evaporan. El metal base muestra primeras quemaduras.
<i>Amarillo blanco</i>	=	más de 800 ° C	Daños irreversibles en el material.

La montura usual de plata nueva se puede calentar hasta una coloración de la superficie rojo cereza y, a corto plazo, hasta rojo claro. La llama se ha mover de un lado a otro de la zona de soldadura.

4) Enfriamiento después de soldar

Durante el enfriamiento se ha de mantener la zona soldada libre de sacudidas. No se debe enfriar en baño de agua hasta no tener una temperatura menor a los 350 ° C.

Este significa para la plata nueva y para las aleaciones de bronce, un cierto efecto de templado, porque la zona soldada está, debido al calentamiento, recocida y bastante blanda. Además salta el fundente vitrificado.

Resumen

1. Limpieza mecánica-química, limado de viejos restos de soldadura. Separación de 0,1 a 0,2 mm, alineación paralela de la separación, si es posible agrandar la superficie a soldar.
2. Fijar bien las piezas, medio auxiliar: una tercera mano, ajustar sobre pinzas de montaje.
3. Aplicación de soldadura y fundente: intercalar soldadura, aplicar fundente, siendo el espesor de la capa igual a la separación. Aplicar bastante fundente sobre la zona a soldar.
4. Calentamiento: calentar con rapidez, mover la llama sobre la zona de soldadura, la superficie del metal debería tener color rojo-cereza, mantener la temperatura unos segundos.
5. Dejar enfriar, luego enfriar en baño de agua. Lavar cuidadosamente los restos de fundente.
6. Control de la zona soldada, pulir.