

M. Riat

TÉCNICAS GRÁFICAS

Una introducción a las técnicas de impresión
y su historia

Versión 3.00
BURRIANA, VERANO 2006

Índice de capítulos

Preámbulo	5
Introducción	7
La fotografía	13
El procedimiento al colodión húmedo	20
La fotografía al gelatinobromuro de plata	22
La sensibilización espectral	22
Sensitometría elemental	23
Los efectos fotográficos	31
El positivo fotográfico	33
Copia a la sal	33
Albuminotipia	33
El Clichée-Verre	34
Los procedimientos al bicromato	35
El procedimiento al carbón	36
El procedimiento a la goma	39
La carbrotipia	41
La oleotipia	42
La oleobromía	43
La oleotipia y la oleobromía indirecta	43
La pinatipia	44
La Woodburytipia	45
La trama	46
La tipografía	73
La composición manual	79
La composición mecánica	83
La fotocomposición	85
El arreglo	87
La xilografía	89
La xilografía a fibra	89
La xilografía a contra fibra	91
La xilografía japonesa	95
Estereotipia y galvanotipia	96
Cincotipia (Cliché de cinc)	98
Planchas fotopolímeras	101
Offset en seco	102
La flexografía	103

La litografía	104
Preparación de la piedra	105
La impresión litográfica	106
Las técnicas directas	109
El grabado sobre piedra	111
Las técnicas indirectas	112
La autografía	112
La impresión anastática	113
La transferencia litográfica	113
La fotolitografía	114
El proceso de trabajo en una imprenta offset clásica	116
La fototipia	121
La serigrafía	125
Reserva manual	127
Reserva fotomecánica	128
La calcografía	129
Procedimientos mecánicos	134
El buril	134
La punta seca	135
La manera al lápiz	136
El mezzotinto o la manera negra	136
Procedimientos químicos, el aguafuerte	138
El aguainta	140
Procedimiento al aerosol	142
Procedimiento a la arena	143
Procedimiento al alcohol	143
Procedimiento al azufre	143
Procedimiento a la sal	144
Procedimiento al azúcar	144
El grabado al barniz blando	144
El gofrado	145
Procedimientos fotomecánicos, El heliograbado	146
El rotograbado	148
Grabación electromecánica	152
El color	155
La naturaleza del color	155
La reproducción del color	161
Sistema de Lippmann	161
La tricromía	162
La separación tricromática	163
La restitución de los colores	164
Tramas tricolores	165
Las películas multicapas	168
La fotografía instantánea	174
La cuatricromía	176
El scanner	178
Otras aplicaciones del color	181
El Roll-Up	188

Procedimientos combinados	190
La oleografía	190
La monotipia	190
El papel jaspeado	191
La tampografía	193
El estampado en caliente	193
El impreso en falso relieve	194
Rotulación al vinilo	194
Rotulación Laser	195
Láminas de trama lenticular	195
Las nuevas técnicas	196
La fotografía digital	196
La preimpresión digital	198
CtP, Computer to Plate	204
DPI (Dots per Inch) y PPI (Pixels per Inch)	204
La impresión digital	206
Computer to Print (CtPrint)	207
Impresoras de chorro de tinta, Ink-Jet	207
Impresoras de chorro de cera	208
Impresoras LASER	208
Impresión por transmisión térmica de cera	208
Impresión térmica de sublimación de pigmentos	209
La magnetografía	210
La ionografía	211
La elcografía	211
CtPress, Computer to Press	211
CtC, Impresión Computer to Cylinder	213
Características de las diferentes técnicas	214
La firma de la obra gráfica	227
Apéndice: Técnicas de copia en las oficinas	233
La prensa de copiar cartas	233
La cianotipia	235
La hectografía	236
El duplicador de alcohol	236
La litografía en las oficinas	236
Sistemas serigráficos	237
La Risografía	240
Apéndice: El papel	241
Fechas históricas	246
Vocabulario	252
Bibliografía histórica	259
Literatura	262
Índice alfabético	263
Agradecimientos	271

Preámbulo

Ya han pasado más de 20 años desde la aparición de la primera versión de este texto. A finales de los años 1970 trabajaba en una pequeña imprenta en Olot, al pie de los Pirineos Catalanes. En aquella época leí varios libros sobre las diferentes técnicas de impresión y pronto me di cuenta que la mayoría de las personas relacionadas con el oficio, como editores, librereros, coleccionistas de obra gráfica o filatélicos, estaban muy mal informadas sobre la diversidad de técnicas existentes.

Pero también muchos de los libros consultados sólo ofrecían una imagen unilateral. Muchos se limitaban a los procedimientos artísticos, la mayoría a determinado procedimiento. No encontraba ninguna obra corta que resumiera las diferentes técnicas, tanto las artísticas como las industriales, sin olvidar las históricas, y eso me motivó a escribirla yo mismo.

Al cabo de muchas visitas a diferentes bibliotecas de Barcelona, finalmente había escrito un grueso manuscrito, que ahora tuve que depurar, guardando lo más importante y desechando aproximadamente la mitad de las páginas.

Finalmente el libro salió en Septiembre de 1983 bajo el número de ISBN 84-86243-00-9.

Luego me propuse ofrecer el libro también en versión alemana y empecé a traducirlo. Pero cuando me enteraré de los precios de edición de las zonas de habla alemana, entonces muchísimo más altos que los usuales en España, renuncié al proyecto.

A pesar de ello, quería poner mi trabajo a disposición de los círculos interesados y decidí ofrecer el texto para su distribución libre. Con este propósito escribí el texto en un fichero Word mediante el *PC*. Usaba la versión *Word 97* de *Microsoft*, ya que entonces se trataba de uno de los programas de texto más usados del mundo. Mi primera idea era de distribuir el texto como fichero *Word* grabado sobre disquetes de 3 1/2 " y de dejar copias a las diferentes bibliotecas. Efectivamente llegué a distribuir cierto número de copias en este formato. Pero luego me di cuenta que el entonces nuevo formato PDF (Public Distribution File) era mucho más apropiado para mis fines, ya que los ficheros se pueden leer mediante casi cualquier sistema informático.

Para evitar los ficheros demasiado grandes he dividido la obra en varios ficheros. Por la misma razón he renunciado a la mayoría de aquellas ilustraciones que no son imprescindibles para la comprensión del texto.

En nuestra página web personal la versión alemana ha tenido bastante éxito y he recibido numerosos correos electrónicos con sugerencias y consultas; esto me ha motivado a redactar esta versión, para ofrecer este texto a la gran comunidad de los que hablan el castellano.

Este texto ya no es una pura traducción del original catalán de 1983: como otros campos, en los últimos 20 o 30 años el ramo de la imprenta ha estado sometido a cambios substanciosos que he intentado describir brevemente, en el mismo estilo divulgativo que ya había utilizado para comentar las técnicas tradicionales.

Las críticas constructivas, las sugerencias, las correcciones y otras indicaciones son bienvenidas. Se me puede contactar mediante la dirección de correo electrónico que aparece en nuestra página web <http://www.riat-serra.org>. Las personas que contribuyen a la mejora de este texto se mencionarán en la sección de los agradecimientos de futuras ediciones.

Los ficheros pertenecientes a esta obra se pueden usar bajo las condiciones enumeradas a continuación:

CONDICIONES

El texto presente se puede distribuir libremente, a condición de respetar los siguientes puntos:

La obra tiene que distribuirse en forma de los ficheros PDF originales sin modificar.

Los ficheros no se deben distribuir ni parcialmente conjuntamente con un producto comercial.

El texto y las ilustraciones se deben utilizar exclusivamente para fines no lucrativos, como por ejemplo para la enseñanza.

Si este texto se usa parcial o íntegramente para fines culturales, didácticos o similares, hay que mencionar su origen y hay que citar las condiciones presentes.

El autor se reserva el derecho de disponer libremente de su trabajo, por ejemplo para cambiar el material, para traducirlo o para publicarlo de cualquier forma.

Introducción

El deseo humano de facilitar sus pensamientos al mayor círculo posible, tanto cuando se trata de nociones exclusivamente intelectuales, como de las filosóficas, científicas o políticas, como cuando se trata de la divulgación de obras de arte, ya pronto ha llevado a la creación de medios destinados a la conservación, la transmisión y la multiplicación de las obras humanas. Todos estos medios se destinan a uno o más de nuestros órganos sensoriales, como por ejemplo el fonógrafo al oído, la fotografía a la vista, la fundición simultáneamente a la vista y al tacto. Hasta el presente no se han creado sistemas satisfactorios en el campo del gusto y del olfato.

Entre todos nuestros sentidos el de la vista para la mayoría de las personas es el más concreto. Cuando intentamos imaginarnos un concepto abstracto, la mayoría de nosotros intenta hacerse una imagen gráfica de una, dos o tres dimensiones (las dimensiones de orden superior están siendo reservadas a los matemáticos) y esta imagen virtual nos permite comparar el objeto abstracto con otros similares que nuestro cerebro ya tiene asimilados. Muy poca gente substituye esta manera gráfica de pensar por una acústica, por ejemplo a base de palabras (sin tener en cuenta su representación gráfica por la escritura) o de armonías. Y es difícil imaginar que alguien usara otro de sus sentidos para este fin.

En este libro se discutirán las técnicas que permiten la producción en serie de objetos de dos dimensiones sobre papel, a saber las clásicas técnicas de impresión y los procedimientos fotográficos. La impresión sobre otros soportes que el papel sólo se mencionará ocasionalmente, de manera que la impresión sobre ropa y la fabricación de discos fonográficos aquí no se comentará.

Aquí conviene aclarar que el termino **grabado** no se refiere necesariamente a una impresión artística o a una ilustración. La palabra grabado se aplica exclusivamente a todos aquellos objetos que han sido tallados o esculpidos de alguna manera (por medios mecánicos, químicos o electrolíticos) y se puede aplicar perfectamente a las placas grabadas propias de la tipografía y de la calcografía. Pero también se llama grabado a una impresión efectuada a partir de una plancha, una tabla o más

generalmente de una **forma**¹ grabada. Los otros impresos no se deben llamar grabados.

La prehistoria de las artes gráficas es la protohistoria del dibujo, del grabado y del papel. La historia de las artes gráficas empieza cuando el hombre descubre la posibilidad de transferir un dibujo a otro soporte mediante una tabla de madera grabada.

Hay una teoría que pretende que el hombre no empezó a dibujar con la intención de representar una figura que le impresionara sobre una superficie lisa. Según esta teoría aquellas estructuras que se encuentran siempre cuando la casualidad juega con las leyes de la naturaleza le inspiraron a imitar y a manipular subjetivamente ciertas formas que le sugirieron animales o hasta seres sobrenaturales.

El arte del dibujo primitivo estimuló la creación de los primeros sistemas de escritura, los ideogramas, como los que por ejemplo todavía se usan en China. Una abstracción posterior que representó la fonética de la lengua por símbolos específicos llevó directamente a los sistemas alfabéticos como los que usan la mayoría de las lenguas modernas.

A pesar de que puede parecer contradictorio, el arte de grabar es mucho más antiguo que los primerísimos sistemas de impresión, ya que los primeros grabados se hicieron exclusivamente con finalidad decorativa sobre herramientas, armas u otros objetos. Puede que las pisadas de los animales en la nieve o el barro fueran el primer contacto de la humanidad con las técnicas de impresión...

Este libro intenta ofrecer una introducción en el campo de las diferentes técnicas gráficas al lector novato y a la vez dar una visión de conjunto sobre estas técnicas y su desarrollo histórico. Los procedimientos artísticos y los industriales se tratan con ecuanimidad. Se intenta facilitar la comprensión de estos procedimientos mediante dibujos esquemáticos, los cuales idealizan la realidad, la simplifican y la exageran, como todos los esquemas que intentan apoyar una explicación.

La tabla histórica puede ser útil en la clasificación cronológica de libros y de estampas, pero hay que advertir que no hay que tomarse las fechas con demasiado rigor, ya que siempre hay que contar con el conocido fenómeno de dos personas que trabajan independientemente el uno del otro y que en un intervalo de sólo pocos días o meses hacen el mismo invento o descubrimiento. A veces los inventos no se publican durante años y a veces son explotados en secreto en algún taller, hasta que algún día un inventor independiente publica el invento. Un ejemplo clásico es el del fonógrafo que fue inventado en 1878 al mismo tiempo

¹ En artes gráficas por **forma** se entiende una matriz que permite producir los impresos. Según la técnica, la forma puede ser un molde, un cilindro, una pantalla (serigrafía), un cliché (fotografía), una plancha (offset), una piedra (litografía), etc.

por el americano *Edison* y por el francés *Cros* sin que los dos inventores hubieran tenido conocimiento del otro. Estos casos no son tan excepcionales como pudiera parecer a primera vista. Hay que considerar que ambos inventores disponen de la misma base científica y tecnológica desde la cual su invento ya sólo constituye un pequeño, pero decisivo paso.

Por ejemplo en el caso de la autotipia había una serie de procedimientos que ya se estaban practicando bajo enormes dificultades antes de la patente de *Meisenbach* de 1882. Parece que el procedimiento de *Meisenbach* ya se estaba practicando en varios talleres bajo secreto, cuando se publicó en 1882.

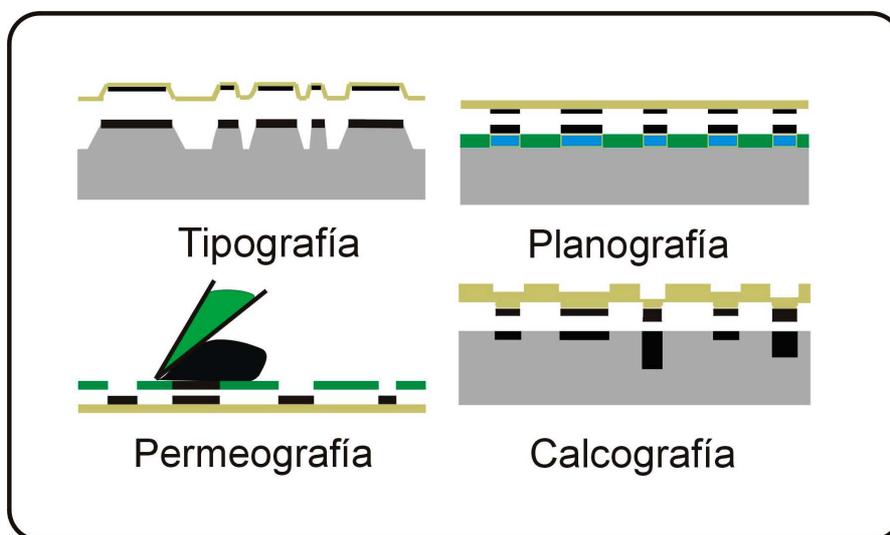
La terminología de las artes gráficas puede dar lugar a confusiones, ya que a veces en diferentes libros el mismo término se aplica a diferentes conceptos y a veces un mismo concepto se designa con diferentes nombres. Así por ejemplo la palabra alemana "*Öldruck*" normalmente se usa para un procedimiento fotográfico noble, la oleotipia, pero a veces se usa para hablar de diferentes tipos de impresos combinados (hechos con más de una técnica) que intentan imitar el aspecto de lienzos pintados al óleo. En diferentes libros podemos encontrar los nombres siguientes para referirse a la fototipia: Albertipia, colografía, gelatinografía, fotocología, etc... En este texto nos hemos esforzado en usar la nomenclatura más usual y a la vez menos propensa a la confusión. Muchas confusiones se pueden evitar usando el vocabulario hacia el final del libro.

La bibliografía histórica se limita a unos cuantos títulos destacados por su importancia. Una bibliografía aproximadamente completa de todos los libros relacionados con el campo de las artes gráficas tendría que contener miles de títulos, sin contar con las revistas especializadas y los artículos esporádicos procedentes de diferentes publicaciones.

Antes de empezar con la clasificación de los sistemas de impresión tradicionales quisiéramos mencionar los peligros que conlleva la manipulación incorrecta de ciertas sustancias, que pueden ser tóxicas, inflamables, explosivas o corrosivas. La pocas recetas contenidas en este ensayo tienen una finalidad puramente ilustrativa y no están pensadas para servir de base a la experimentación, por lo que renunciamos a señalar los peligros propios de las diferentes sustancias mencionadas más adelante. Si alguien quiere hacer experimentos con una técnica determinada, le ruego que consulte la literatura especializada adecuada.

La gran mayoría de los procedimientos de impresión están basados sobre sistemas que permiten la repetida transferencia de tinta de un **molde** llamado **forma** en este contexto sobre una hoja de papel. Hay una categoría de sistemas de impresión que (salvo algunas excepciones) no están basados sobre la transferencia de tinta y cuyas imágenes se forman gracias a reacciones químicas inducidas por la energía de la luz o de otras radiaciones electromagnéticas. Estos sistemas llamados fotográficos antes no se solían incluir en el grupo de las técnicas gráficas, se supone que precisamente por esta falta de transferencia de tinta que caracteriza los procedimientos tradicionales. Por su relación con las técnicas tradicionales hemos dedicado un capítulo a la fotografía y a sus modalidades más importantes, pero sin profundizar demasiado. El capítulo contiene una pequeña introducción a la sensitometría de los materiales basados en la gelatina al bromuro de plata que facilitará entre otras cosas la comprensión de las operaciones fotográficas relacionadas con la autotipia.

Desde sus principios en la primera parte del siglo XIX la fotografía empezó a fungir como técnica auxiliar en los cuatro grupos principales de técnicas de impresión que presentaremos a continuación. Este es el motivo por el cual he empezado el libro por el capítulo dedicado a la fotografía.



Según la manera de la transmisión de la tinta desde la forma (o molde) sobre el papel, las técnicas de impresión tradicionales se pueden dividir en cuatro clases que usualmente se llaman **Tipografía, Planografía, Permeografía y Calcografía**. El dibujo siguiente representa estos cuatro grupos esquemáticamente:

La tipografía y la calcografía trabajan con una forma en relieve.

En el caso de la **tipografía** se transfiere la capa de tinta depositada en la superficie de la tabla sobre el papel. En el momento de la transferencia

el papel se aprieta sobre la forma (tabla), normalmente mediante una prensa. En el caso de la calcografía son las depresiones en la forma que se llenan de tinta, mientras que la superficie de la forma está limpia en el momento de la transferencia por presión.

Una comparación práctica puede ayudar a entender esta diferencia: Si pisamos una delgada mancha de pintura fresca con nuestros zapatos de montaña, al efectuar el próximo paso vamos a dejar una huella en el suelo. Esta huella corresponde a la tipografía. Si nos limpiamos los zapatos llenos de barro en la alfombra y luego los dejamos en el suelo, pasará lo siguiente: El barro que se habrá quedado en los huecos de la suela se va a secar i finalmente se va a desprender. El dibujo que encontraremos en el suelo corresponde a la calcografía.

Los sistemas de impresión **planográficos** se caracterizan por una forma totalmente lisa. La diferencia entre las zonas que aceptan la tinta en el momento del entintado y las que la rechazan normalmente se funda en la repulsión mutua entre el agua y el aceite.

Los sistemas permeográficos se suelen repartir entre la **plantigrafía** y la **serigrafía**. En los sistemas plantigráficos se usan plantillas para delimitar las zonas que reciben una capa de tinta, mientras que en la serigrafía la tinta se hace pasar a través de una pantalla de seda que ha sido obstruida en aquellas zonas que corresponden a los blancos del impreso. El nombre de serigrafía proviene de la seda que era el material usado en la primera época de esta técnica.

A continuación comentaremos brevemente el gráfico que esquematiza la subdivisión de los procedimientos de impresión en cuatro clases. La buena comprensión de estos esquemas facilitará la interpretación de otros esquemas similares a lo largo de este texto.

La parte con el título 'Tipografía' representa un corte vertical a través una forma tipográfica entintada. La línea superior representa la hoja de papel impresa. Las líneas negras representan la tinta que se ha depositado sobre el papel. El papel ha quedado algo deformado bajo la presión de la prensa.

Tenemos una situación totalmente diferente en el caso de la calcografía: La intersección a través la plancha nos muestra que la cantidad de tinta depositada sobre el papel depende de la profundidad de los huecos grabados en la superficie de la plancha. Este no es el caso de la tipografía. También en la calcografía el papel ha sido deformado bajo el efecto de la presión, pero no de la misma manera que en el caso de la tipografía.

El esquema de la planografía nos enseña que la forma de esta clase de sistemas de impresión no presenta ningún tipo de relieve y que la adhesión de la tinta tiene que controlarse por otros medios, generalmente químicos.

En los sistemas permeográficos la tinta de impresión no se deposita en la forma inmediatamente antes de la impresión, como es el caso en los otros procedimientos, sino que primero se aplica la forma sobre el papel. La tinta se obliga a atravesar la malla de la pantalla mediante una rasqueta. En nuestro esquema se ha representado la malla encima del papel.

La tipografía, la serigrafía y el representante más importante de los sistemas planográficos, la litografía, no permiten imprimir diferentes grosores de tinta en diferentes zonas de una misma forma. En el capítulo sobre la trama explicaremos, como a pesar de esta limitación se pueden imprimir imágenes con efecto de semitono.

Históricamente parece que los primeros sistemas de impresión eran tipográficos (mucho antes de la invención de los tipos móviles que han dado el nombre a esta clase de sistemas de impresión) y parece que ya se imprimía en la antigua China. Hasta el siglo XVII sólo se conocía la tipografía. Hasta finales del siglo XVIII todos los sistemas de impresión estaban basados sobre formas en relieve. A partir del siglo XIX el número de los procedimientos se multiplicó enormemente, muchos de los cuales han caído en el olvido.

Además de los procedimientos clásicos hay muchos que no se dejan clasificar de manera clara entre los cuatro sistemas clásicos y la fotografía. Estos sistemas pueden estar basados sobre principios diferentes, como por ejemplo la Xerografía o se puede tratar de técnicas mixtas, como en el caso de la tipolitografía. Una tabla sinóptica en el capítulo CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS intenta poner un poco de orden en las técnicas mencionadas en este ensayo.

No es la intención de este texto discutir todas las técnicas existentes, históricas o actuales; más bien es un intento de crear una visión de conjunto que a la vez pueda servir de introducción al tema.

Aquí quisiera volver a insistir sobre los peligros inherentes a la manipulación inadecuada de productos químicos. Como ya se ha dicho, las recetas contenidas en este texto tienen una función puramente ilustrativa y no están pensadas para experimentar con ellas.

La fotografía

Todos aquellos procedimientos que se basan sobre un cambio permanente de ciertas sustancias químicas bajo la influencia de la luz o de otro tipo de radiación electromagnética pertenecen a la fotografía.

La luz perceptible a la vista humana incluye las radiaciones con las longitudes de onda desde aproximadamente 400 nm¹ hasta 700 nm, que corresponden a los colores espectrales entre el violeta y el rojo. Las radiaciones invisibles vecinas del violeta se llaman ultravioleta y las vecinas del rojo infrarrojo.

Los antiguos ya conocían la forma más elemental de la cámara, que más adelante se convertiría en la herramienta más típica del fotógrafo. Esta primera cámara todavía tenía un orificio pequeño en el lugar del objetivo usado más adelante. Un físico chino del quinto siglo a. de C., *Mo Ti*, ya menciona la cámara y explica a su manera el hecho de que en ella las imágenes aparecen al revés. En el siglo XI el científico árabe *Alhazén* describe la cámara, que en latín recibe el nombre de *Camera Obscura*, en su famoso libro de óptica. *Alhazén* menciona su utilidad para la observación de los eclipses de sol. Diferentes pintores renacentistas usaban la cámara como herramienta para el dibujo en perspectiva. *Leonardo da Vinci* hizo una descripción metódica y la comparó con el ojo humano.

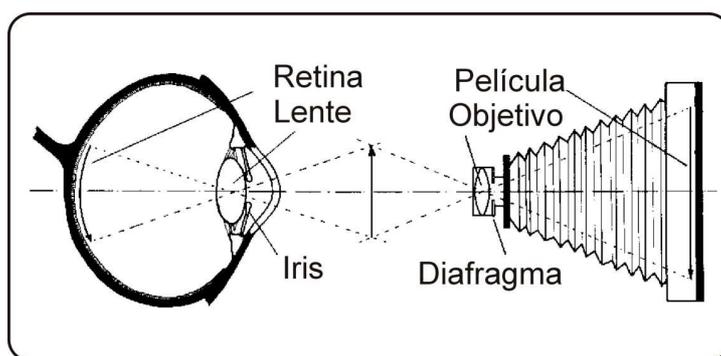
Últimamente varios fotógrafos vuelven a usar la sencilla cámara que tiene un pequeño orificio en vez del objetivo, para obtener unas calidades pictóricas muy especiales. Se usa la expresión inglesa 'Pinhole Lens'. En el apéndice sobre las **técnicas de copia en las oficinas** reproducimos una fotografía hecha con este sistema por el fotógrafo *Karl Jochen Schulte*.

La figura 'Ojo y cámara' muestra los puntos que la cámara fotográfica tiene en común con el ojo. El cristalino, la lente del ojo, proyecta las imágenes invertidas sobre la zona sensible del fondo del ojo, la retina. De la misma manera, el objetivo de la cámara, que puede ser una sencilla lente o incluso un pequeño orificio proyecta la imagen invertida sobre el fondo de la cámara, que puede ser ocupado por un cristal esmerilado para enfocar la imagen, una película sensible o últimamente una célula CCD².

¹ 1 nm = 1 nanómetro = 1 millonésimo de mm.

² Charge Coupled Device.

En el ojo la imagen se enfoca mediante una deformación adecuada de la lente que se llama acomodación. En la cámara normalmente se ajusta la nitidez graduando la distancia entre el objetivo y la película. El ojo tiene la facultad de graduar la luz incidente gracias al iris, que se abre o cierra según la cantidad de luz detectada. Análogamente en la cámara se usa un orificio de diámetro variable para graduar la luz, el diafragma. En general el diafragma tiene forma aproximadamente circular, pero veremos en el capítulo sobre la trama que para ciertos usos especiales, como para hacer negativos autotípicos, se usan formas diferentes de diafragmas.



Ojo y cámara

Desde su forma más primitiva hasta hoy, la cámara se ha ido desarrollando en diferentes direcciones hacia las cámaras especiales usadas hoy en día. Aquí presentaremos unos de los tipos más importantes de cámaras especiales, empleados en la fotografía artística y de reproducción.

Entre las cámaras actuales, probablemente las **cámaras de estudio** de gran tamaño son las que se parecen más a la *Camera Obscura* descrita por *Leonardo da Vinci*. Estas cámaras son herramientas de gran precisión óptica y mecánica y los últimos modelos disponen de sistemas electrónicos para la medición de la luz, el control del obturador o para ajustar el diafragma con precisión. Gracias a una construcción mecánica que permite ajustar el montante trasero (el que lleva el material sensible) y el montante delantero (el que lleva el objetivo) de manera prácticamente independiente, con este tipo de cámaras se pueden resolver la mayoría de problemas de perspectiva. Antes de impresionar al material sensible la imagen se puede contemplar en el cristal mate, que en este momento ocupa el lugar de la placa sensible. Los modelos más modernos disponen de placas electrónicas CCD. Cuando se desea hacer la exposición definitiva, se substituye el cristal mate por un casete que contiene una película plana protegida de la luz por una lámina de hojalata que se saca del casete cuando este esté colocado en el montante trasero de la cámara. Una vez la película expuesta la lámina de hojalata se vuelve a deslizar en el casete y este se puede sacar de la cámara. Todas estas manipulaciones,

que exigen unos segundos al fotógrafo limitan el uso de este tipo de cámaras a objetos relativamente inmóviles. Pero se pueden conseguir efectos que no están al alcance de las cámaras fijas. Un clásico ejemplo es la aplicación del teorema de *Scheimpflug*: Si el plano de la película, el plano de la lente y el plano del objeto coinciden en una misma línea, el plano del objeto quedará proyectado con nitidez sobre el plano de la película.

En el medio de nuestra ilustración 'Cámara reflex, cámara de estudio y cámara de reproducción' se reproduce un cámara de fama mundial, el modelo C de la empresa *Sinar*, que tuvo la amabilidad de permitir la reproducción de esta imagen.



Cámara reflex, cámara de estudio y cámara de reproducción

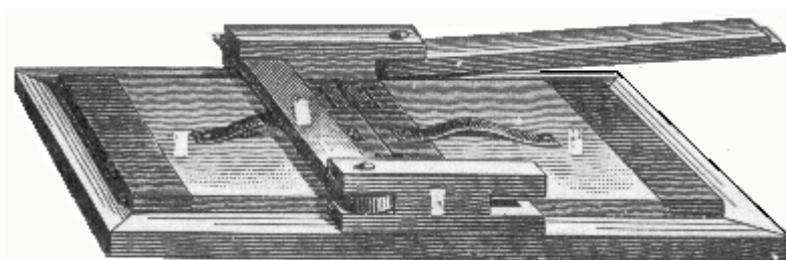
Uno de los tipos de cámaras más populares, tanto entre profesionales como entre aficionados, es la **cámara reflex de un objetivo** (a la izquierda de la ilustración). En estas cámaras, la luz que entra por el objetivo queda reflejada en un espejo inclinado a 45° contra el eje óptico y proyectado contra el prisma del buscador. En el momento de disparar la cámara el espejo se desvía, el obturador se abre y la imagen se proyecta sobre la película sensible, hasta que el obturador se vuelva a cerrar. Entonces el espejo vuelve recobrar su posición anterior. El modelo reproducido en la parte izquierda de la imagen se trata de la *Leica R4* de la empresa *Ernst Leitz Wetzlar GmbH*, que tuvo la amabilidad de permitir la reproducción aquí.

Las **cámaras fotomecánicas** o de **reproducción** propias del ramo de las artes gráficas, y que en los últimos años han sido reemplazadas mayoritariamente por los scanners electrónicos, destacan por su enorme tamaño de negativos, que suelen superar el tamaño de 30 por 40 cm. Se distingue entre cámaras verticales y horizontales. Las horizontales se prestan especialmente para reproducciones de muy gran tamaño. Las

cámaras de reproducción usadas hasta finales del siglo XX solían disponer de fuentes de luz incorporadas, tanto para originales opacos como transparentes.

A la derecha de nuestra ilustración se ve una pequeña cámara de reproducción vertical, la *Anaca Favorit 4050*.

Las tres cámaras de esta ilustración no están representadas a la misma escala, como se ve por el hecho de que la primera trabaja con negativos de 24 por 36 mm, la cámara de estudio trabaja con placas de 9 por 12 cm o más y la *Anaca* trabajaba con negativos de hasta 40 por 50 cm y tiene más de un metro de altura.



Marco para copias de contacto procedente del siglo XIX

Los modelos más grandes de cámaras de reproducción muchas veces se construyeron como cámaras de dos estancias: en el cuarto oscuro se hacían los ajustes, se colocaban las películas y las tramas de contacto sobre la placa aspirante y se efectuaban las exposiciones; en el cuarto claro se colocaba el original y las luces. La placa aspirante de las famosas cámaras *Klimesch* incorporaba los juegos de varillas verticales para la colocación en **registro**¹ exacto de las películas de los diferentes tamaños a partir de 18 x 24 cm. Apretando el botón correspondiente, el par de varillas deseado sobresalía del plano de la placa para acoger la película perforada o la trama provista con la perforación correspondiente. Así se aseguraba el registro exacto en los montajes sucesivos. La realización mecánica de la casa *Klimesch* era tan perfecta que a ojo casi no se podían distinguir las varillas hundidas en la placa aspirante.

En la cámara *Klimesch Autovertikal T Super M 4* el eje óptico queda reflejado mediante un espejo. Las últimas cámaras de *Klimesch* podían ser acopladas con el sistema *Procolor* que proporciona los tiempos de exposición necesarios a la separación de colores (cuatricromía, ver el capítulo sobre el color) a base de unas sencillas mediciones. En la fotografía de reproducción es importante que la superficie que se trata de reproducir quede proyectada sobre la película sin distorsiones. Los

¹ Se llama registro el hecho de que dos impresiones que se superponen en un mismo soporte mantengan perfectamente su mutua posición relativa.

objetivos Rodagon de Rodenstock están especialmente diseñados para su uso en reprografía, ampliadoras y fotografía arquitectural, ya que su corrección está especialmente orientada a respetar los ángulos.

Un sistema para insolar¹ material fotográfico muy usado en artes gráficas es la copia por contacto, la cual se realiza iluminando el material sensible a través de una transparencia que puede ser un negativo o una diapositiva, que puede ser de línea o de tono continuo, en contacto con el material sensible.

La manera más sencilla de hacer una copia de contacto es poner el material sensible sobre una mesa, con la emulsión hacia arriba. El original transparente se pone encima del material sensible y se cubre el conjunto con una placa de vidrio para asegurar el buen contacto. Una fuente de luz (por ejemplo una bombilla eléctrica) colgada del techo de la habitación se enciende durante el tiempo necesario que hay que determinar en cada caso.

En las prensas de contacto profesionales el contacto está asegurado por una bomba de vacío.

La base química de la fotografía es la alteración de ciertas substancias bajo el efecto de la luz. Entre los primeros científicos que estudiaron detenidamente el efecto que la luz ejercía sobre ciertas sales de plata hay que mencionar los alemanes *Wilhelm Homberg* (1652-1715) y sobretodo *Johann Heinrich Schulze* (1687-1744). Hacia finales del siglo XVIII diferentes científicos proseguían esta labor, como por ejemplo *Wedgwood*² (1771-1805), *Humphrey Davy* (1778-1829), *Johann Wilhelm Ritter* (1776-1810) o *Carl Wilhelm Scheele* (1742-1786). Ya entonces se hacían algunos experimentos con la *Camera Obscura*, pero de momento nadie conseguía fijar las imágenes.

Aquellos primeros experimentos en el campo de la fotografía daban lugar al descubrimiento de los rayos ultravioleta por *Ritter* en 1801. *Ritter* exponía una placa preparada con nitrato de plata al espectro solar. Contemplando a continuación el ennegrecimiento de la sal de plata provocado por la luz, se dio cuenta que la acción de la luz no había quedado limitada a la zona de las radiaciones visibles: pasaba del límite del violeta. *Ritter* sacó la deducción de que en esta zona había actuado una radiación invisible, que llamó **ultravioleta**.

En el mismo año 1801 el famoso astrónomo *W. Herschel* (1738-1822) descubrió de manera análoga el **infrarrojo**, haciendo mediciones calorimétricas en diferentes zonas del espectro solar.

¹ Etimológicamente la palabra insolar proviene del sol, ya que antiguamente se usaba la potente luz del sol para exponer los materiales sensibles.

² Hijo del famoso ceramista *Josiah Wedgwood* (1730-1795).

Alrededor de 1800, para poder hablar de fotografía en el sentido actual de la palabra, prácticamente sólo faltaba la posibilidad de fijar las imágenes obtenidas por el efecto de la luz, para poder contemplarlas ilimitadamente a la luz blanca del día. Debemos las primeras imágenes fotográficas con carácter permanente obtenidas mediante una cámara al inventor francés *Nicéphore Niepce* (1765-1833). Ya en 1816 *Niepce* había obtenido lo que se puede considerar como uno de los primeros negativos de la historia sobre un papel mojado con una solución de nitrato de plata. Pero este negativo no pudo ser fijado y contemplándolo a la luz del día volvió a desaparecer gradualmente. Después de haber estudiado con esmero todas las sustancias sensibles a la luz que conocía, finalmente se decidió por el Asfalto, con el que recubrió sus placas en 1822. El Asfalto tiene la propiedad de perder su solubilidad en ciertos disolventes bajo la influencia de la luz. Después de una larga exposición del orden de 8 horas *Niepce* reveló esta famosa primera fotografía con un diluyente, que disolvió el asfalto hasta la plancha metálica en aquellas zonas que habían quedado poco expuestas a la luz. Las partes oscuras ahora correspondían al metal descubierto, que podía ser corroído por un ácido, mientras que el asfalto hacía de reserva de las zonas que todavía recubría. Una placa grabada de esta manera se hubiera podido entintar como una placa calcográfica (ver el capítulo sobre LA CALCOGRAFÍA) para su estampación en un tórculo. *Niepce* había inventado la fotografía y a la vez una primitiva forma de heliograbado.

Hay que advertir que la calidad de las imágenes dejaba mucho que desear, sobretodo por la imposibilidad de obtener tonos grises auténticos. Las fotos sólo contenían blancos y negros puros como las fotografías de línea o las fotos quemadas actuales. Y la circunstancia de que las sombras se desplazan durante las largas exposiciones de 8 horas no contribuyó a mejorar la calidad de las imágenes. Todo esto ya condenaba la fotografía al asfalto a un fracaso seguro. Pero en algunos sistemas de copia fotomecánica el asfalto todavía desempeñaría un papel importante durante varias décadas. *Niepce* no se dejó vencer y continuó sus experimentos con otras sustancias fotosensibles. En 1829, cuando estaba trabajando en un sistema basado en vapores de yodo, *Niepce* se asoció con el pintor francés *Louis Jacques Mandé Daguerre*. *Daguerre* era un especialista en el campo de la perspectiva y de la escenografía y usaba la cámara para resolver ciertos problemas de perspectiva. En París había montado un espectáculo basado en la pintura y los efectos especiales de iluminación que llamó el "*Diorama*" y que causó una impresión de un gran realismo. En 1839 *Daguerre* publicó un procedimiento fotográfico de su invención que se popularizó muy deprisa, a pesar de sus dificultades técnicas, sobre

todo gracias al famoso físico Aragón que consiguió una subvención estatal al inventor.

Para obtener un **daguerrotipo**, como más adelante se llamaría a esta primera técnica fotográfica viable, *Daguerre* partía de una plancha de cobre plateada y pulida como un espejo. Se sometía la superficie de esta planchas a vapores de yodo, hasta que la superficie tomara un aspecto amarillento. La plata y el yodo se combinaban químicamente para formar yoduro de plata, el cual es sensible a la luz. La placa así preparada se exponía en la cámara durante aproximadamente media hora. Bajo la influencia de la luz el yoduro tiende a disgregarse en plata y en yodo elementales. Para **revelar** la imagen todavía latente, la placa se sometía en una caja de madera especialmente diseñada a vapores de mercurio. En esta caja la placa se mantenía horizontalmente con la capa sensible hacia abajo a poca distancia de un baño de mercurio líquido calentado a unos 60 °C de temperatura. El vapor de mercurio se combinaba con el yodo metálico segregado bajo la influencia de la luz para formar amalgama de plata. En cada zona de la placa la cantidad de amalgama formado dependía de la cantidad de luz que había incidido sobre ella durante la exposición. Se podía observar el revelado a través un cristal amarillo, ya que la placa no era sensible a la luz amarilla¹, ni tampoco a la luz roja o verde. Después del revelado había que **fijar** la fotografía. Para este fin la placa se sumergía en una solución de tiosulfato de sodio (también llamado hiposulfito de sodio), el fijador que todavía se usa en fotografía. Esta sal separaba el yoduro de plata residual de la placa. Ahora la foto ya estaba insensible a la luz. Finalmente se enjuagaba la placa con agua y se la secaba. El resultado era una auténtica **fotografía de medios tonos** o **de tono continuo**, cuyas luces estaban formadas por el amalgama y las sombras por el cobre de la placa.

Daguerre elaboró, conjuntamente con el físico *Armand Hippolyte Louis Fizeau* y el grabador *Brévière* un sistema para obtener una especie de **heliograbado** a partir del daguerrotipo que se pudiera imprimir en un **tórculo**². Este sistema es complicado, delicado y poco seguro, la placa no resistía los tirajes largos, de manera que no tuvo éxito.

En esta primera época de la fotografía todavía no existía ningún procedimiento fotomecánico para elaborar una forma o plancha de impresión a partir de una fotografía de medios tonos. Este hecho obligaba a la industria gráfica de entonces a recorrer a aquellas técnicas manuales tradicionales que permitían la reproducción de un original de medios tonos, como la litografía a lápiz graso, la xilografía de líneas blancas o el procedimiento al aguatinta. Dos libros especialmente bellos editados en

¹ Se dice que la luz amarilla no es luz **actínica** para el daguerrotipo.

² La prensa manual para imprimir calcografías.

aquella época merecen ser citados en este contexto. En el primero, editado por *Charles Philipon* en 1840, se publicó una colección de vistas fotográficas de París en forma de litografías manuales al lápiz graso bajo el título de '*Paris et ses environs reproduits par le daguerréotype*'. En el libro de *N. P. Lerebours* con el título '*Excursions daguerriennes, vues et monuments les plus remarquables du globe*' las fotografías estaban reproducidas en forma de aguatinas manuales.

Prácticamente al mismo tiempo que *Daguerre* inventó el daguerrotipo, dos inventores independientes el uno del otro inventaron procedimientos igualmente interesantes que el de *Daguerre*, a pesar de lo cual nunca tuvieron los honores de éste. Se trata de *Fox Talbot* i de *Hippolyte Bayard*.

Talbot hacía negativos de papel en la cámara, a partir de los cuales se podían obtener un número ilimitado de copias por contacto, que eran un poco turbios. En su patente del año 1841 *Talbot* da el nombre de **Calotype** a su procedimiento. *Talbot*, hombre polifacético, era matemático, físico y filólogo y se dedicaba a tan diferentes tareas como a la invención de un motor de explosión y a la traducción de textos cuneiformes asirios. En 1844 publicó un libro con el título '*The Pencil of Nature*', que era el primer libro de la historia ilustrado con fotografías originales, en este caso **calotípicas**.

Hippolyte Bayard había inventado un sistema similar al de *Talbot*, y ya en 1839, poco antes de la publicación del invento de *Daguerre*, era capaz de obtener positivos directos en su cámara.

Y en 1847 un primo de *Niepce*, *Niepce de Saint-Victor*, producía negativos de gran calidad sobre placas de vidrio emulsionadas con una capa de albumen. Era la base de la albuminotipia.

El procedimiento al colodión húmedo

En 1851 se inventó un sistema que fue decisivo para la futura expansión de la fotografía, el procedimiento al colodión húmedo, que pronto desterraría por completo al daguerrotipo. Entre sus inventores destacan los nombres de *Le Gray*, *Fry* y *Archer*. El procedimiento genera un negativo transparente, a partir del cual se pueden obtener un número ilimitado de copias positivas, como en el sistema de *Talbot*, pero con una calidad claramente superior. De otra parte el procedimiento tiene un inconveniente mayor: las placas tienen que emulsionarse inmediatamente antes de exponerlas y hay que revelarlas antes de que se sequen.

¹ También se encuentra la grafía "Legray".

El colodión inventado en 1846 por *Louis Ménard* es una solución de nitrocelulosa en una mezcla de alcohol etílico y de éter que se seca formando una masa transparente. Para su uso fotográfico se le añade al colodión sales de yodo y de bromo, que luego reaccionan con el nitrato de plata del baño sensibilizador formando yoduro y bromuro de plata. Una posible composición es la siguiente:

500 ml	éter
500 ml	alcohol etílico
15 g	nitrocelulosa
15 g	yoduro amónico
10 g	yoduro de potasio
5 g	bromuro amónico

Primero hay que limpiar bien la placa de vidrio con ácido nítrico rebajado, enjuagarla y secarla. Las placas pueden ser reutilizadas si se las limpia con esmero. El colodión se vierte sobre un lado del vidrio y se decanta, a fin de obtener una capa delgada bien igualada. Una centrífuga puede ayudar a mejorar notablemente los resultados. Cuando se empieza a formar una piel delgada, se sensibiliza la placa, sumergiéndola en una solución de 5 a 10 % de nitrato de plata. Es en este baño que se forman los halógenos de plata (bromuro y yoduro de plata) altamente sensibles a la luz.

Ahora la placa puede ser expuesta en la cámara. Como reveladores al principio se usaban sales de hierro inorgánicos, que más adelante fueron substituidos por sustancias orgánicas como el ácido pirogálico, o la hidroquinona. Para fijar las imágenes se solía usar una solución acuosa al 5 % de cianuro de potasio (¡muy tóxico!). Después del enjuagado final la placa se deja secar. Todo el proceso tiene que transcurrir antes de que el éter contenido en el colodión tenga tiempo de evaporarse. Los fotógrafos de aquella época tenían que poder disponer de un laboratorio durante todo el proceso. Usualmente llevaban siempre una tienda portátil de ropa opaca con ellos. A pesar de estas circunstancias adversas se hicieron valiosos reportajes sobre placas de colodión. En la fotografía artística el sistema al colodión húmedo pronto quedaría relevado por el sistema al colodión seco de Le Gray y Russel, que a su vez pronto dejó paso a las placas al que formaban la base de la fotografía que se practicó durante todo el siglo XX. Pero en el campo de la fotografía de reproducción en los talleres de fotograbado la fotografía al colodión húmedo se practicaba durante casi 100 años.

Los negativos del procedimiento al colodión húmedo se pueden reforzar o rebajar antes o después del baño fijador. Combinando

sabiamente los baños de refuerzo y de rebaja se puede obtener un espectacular aumento de contraste como el que conviene para la obtención de fotos de línea y tramadas (ver el capítulo LA TRAMA).

En la época del colodión húmedo también se ideó un curioso caso especial de la fotografía, aquella técnica que recibió el nombre de **ambrotipia** y que se debe al efecto siguiente: Si se contempla un negativo subexpuesto bajo iluminación lateral delante de un fondo negro, inesperadamente se percibe una imagen positiva, ya que las partículas de plata reflejan la luz incidente.

Otro caso especial se obtiene emulsionando una placa metálica ennegrecida. Este procedimiento llamado ferrotipia nos da una imagen positiva por la misma razón. La ferrotipia fue practicada en el siglo XIX sobretodo por fotógrafos ambulantes.

La fotografía al gelatinobromuro de plata

El procedimiento fotográfico más importante durante todo el siglo XX fue sin duda el sistema al gelatinobromuro de plata, inventado en 1871 por el médico inglés Richard Leach Maddox. A partir de 1880 las placas al gelatinobromuro de plata adquirieron una gran popularidad, sobre todo gracias a los esfuerzos de Charles Harper Bennett y de Désiré Charles Emanuel van Monckhoven para aumentar notablemente su sensibilidad. Y pronto se empezó a substituir las placas de vidrio por película flexible. Al final del siglo XX las placas de vidrio prácticamente sólo se usaban para trabajos muy especiales. Los materiales al gelatinobromuro de plata se pueden guardar durante meses sin apenas perder calidad. El procesamiento consta esencialmente de un baño revelador, un baño fijador, un enjuague final y el secado.

La sensibilización espectral

En principio las emulsiones al gelatinobromuro de plata sólo están sensibles a la zona azul y ultravioleta del espectro, si no se someten a un tratamiento especial llamado **sensibilización cromática**. Existen ciertos colorantes, que hacen que las emulsiones fotográficas se vuelvan sensibles a los colores verde, amarillo y rojo y en ciertos casos incluso a radiaciones pertenecientes a la zona del infrarrojo. Una sustancia

fotosensible sólo puede ser influenciada por colores que ella misma absorbe. Un colorante que tiene que sensibilizar una emulsión fotográfica tiene que teñir las sales de plata, pero no la masa gelatinosa que las contiene, ya que en caso contrario las radiaciones ya quedarían absorbidas por la gelatina y ya no podría actuar sobre las sales fotosensibles. La primera sustancia sensibilizante fue descubierta en 1873 por Hermann Wilhelm Vogel que consiguió una sensibilidad al verde del material tratado con ella. En el curso del tiempo muchas sustancias sensibilizadoras se descubrieron, como la **eritrosina** para el amarillo verdoso, el **pinacianol** para el rojo.

Una emulsión fotográfica sensible al verde y al amarillo se llama **ortocromática**. Los materiales ortocromáticos pueden tratarse en un laboratorio iluminado con luz roja (que no contenga radiaciones más cortas que unos 580 nm). Se dice que la luz roja de estas características es **inactínica** para el material ortocromático. Los materiales sensibles a todos los colores del espectro visible se llaman **pancromáticos** y tienen que ser manejados en obscuridad absoluta.

Sensitometría elemental

La ciencia que estudia las reacciones fotoquímicas de las emulsiones fotográficas desde su punto de vista cuantitativo se llama **sensitometría**. La fotografía usa materiales muy diferentes bajo condiciones variables. Por ejemplo hay materiales con diferente sensibilidad, más o menos duros, que se pueden revelar en diferentes tipos de revelador durante más o menos tiempo, a más o menos temperatura, etc.

A continuación nos proponemos comentar brevemente los términos más elementales de la sensitometría. Hay que advertir que las definiciones pueden variar ligeramente de un libro de texto a otro, sin falsificar por ello los hechos. Antes de empezar a definir los términos propios de la sensitometría vamos a recordar al lector el término matemático del **logaritmo**, que es imprescindible para la comprensión de la sensitometría.

Una **potencia** de la forma b^e ("b a la potencia e" o "b elevado a e") está definida como el producto de e factores con el valor b, con la condición que e tiene que ser un número natural. El valor común de los factores, b, se llama **base**, e se llama **exponente** de la potencia.

Por ejemplo la potencia 3^7 (3 elevado a 7) es el producto $3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3$. En este caso la base es 3, el exponente 7 y el valor numérico de la potencia es 2187. Si queremos sumar dos potencias que tienen la

misma base, sólo tenemos que sumar los exponentes. Por definición se establece: $b^0 = 1$ para cualquier valor de b que sea diferente de 0.

El concepto de potencia se puede generalizar para exponentes reales. En este caso la interpretación del exponente como número de factores se vuelve absurdo, pero las reglas de cálculo permanecen las mismas. Si se contempla el sistema de todas las potencias posibles con la misma base b , el exponente de una potencia con el valor numérico p se llama el **logaritmo** de p en base b . El hecho $p = b^e$ se puede expresar de manera equivalente con la simbología:

$$e = {}_b \log(p)$$

Se lee: e es el logaritmo de p en base b .

La base de un sistema de logaritmos puede ser cualquier valor numérico real positivo y diferente de 1, pero en el campo de la técnica, por motivos prácticos, se suele usar la base 10. Los logaritmos en base 10 se llaman logaritmos decimales o decádicos y se suelen simbolizar con 'lg'. Así por ejemplo el logaritmo decimal de 1000, $\lg(1000)$ es igual a 3, ya que $10^3 = 1000$. El logaritmo de un producto equivale siempre a la suma de los logaritmos de los factores. Esto se puede simbolizar como:

$$\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b)$$

A la **reflectancia** de un original opaco, como por ejemplo de una fotografía sobre papel le corresponde análogamente la **transparencia** de un original transparente, como por ejemplo de una diapositiva. En ambos casos se trata del cociente de la luz que el original nos devuelve (la luz reflejada en el primer caso, la luz transmitida en el segundo) y de la luz incidente sobre el original. El valor numérico de la reflectancia, respectivamente de la transparencia, se sitúa pues entre 0 y 1. Si por ejemplo el 80 % de la luz se filtra a través una placa de cristal gris, se dice que su transparencia es de 0,8. La **absorción** de un original opaco corresponde análogamente a la **opacidad** de un original de transparencia.

Ya que el tratamiento numérico de los originales opacos y de los originales es prácticamente el mismo, a continuación nos limitaremos a hablar de los originales transparentes. Hemos escogido la transparencia, porque en el caso de los originales opacos la similitud con la superposición de originales, la reflexión en cadena a varias superficies opacas es difícil de realizar.

La **opacidad** es el valor recíproco¹ de la transparencia, o sea el cociente entre la luz incidente y la luz transmitida.

La **densidad** se define como el logaritmo decimal de la opacidad, que por cierto es idéntico al valor negativo del logaritmo decimal de la transparencia.

Si superponemos varias hojas (por ejemplo varias películas de un mismo gris homogéneo), la transparencia del conjunto es igual al producto de las transparencias de las diferentes capas. Lo mismo es cierto para la opacidad. Pero la densidad del paquete corresponde a la suma de las densidades de todas las capas, según la fórmula:

$$\log (a \cdot b) = \log (a) + \log (b)$$

Vamos a ilustrar los hechos con un ejemplo numérico. Supongamos que tenemos una superposición de dos películas de medio tono² con grises uniformes con las transparencias 0,5 y 0,4. La primera hoja deja pasar la mitad de la luz, la segunda sólo 40 %. La opacidad de la primera película es de $1/0,5=2$, la de la segunda de $1/0,4=2,5$. La densidad de la primera película es de $\lg (2) = 0,301\dots = -\lg (0,5)$.

Análogamente la densidad de la segunda película es de $\lg(2,5) = 0,3979\dots = -\lg (0,4)$.

Ahora vamos a calcular la transparencia, la opacidad y la densidad de la superposición de ambas películas. La mitad de la luz penetra la primera película, de esta mitad el 40 % penetra la segunda película, así que el 20 % de la luz total habrá penetrado ambas películas. La opacidad del paquete es $\frac{1}{0,2}=5$. La densidad del paquete se calcula como $\lg (5) = 0,6989\dots$. Comprobamos que $\lg (5) = \lg (2) + \lg (2,5)$.

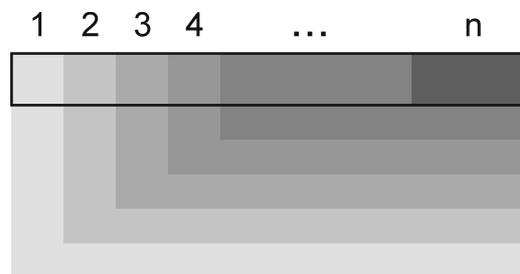
La escala de grises

Una escala de grises de la constante c con n escalones se puede construir superponiendo 1, 2, 3, ..., n capas de películas de la misma densidad c . La figura muestra esta manera de realizar una escala de grises de transparencia. El cociente de las transparencias de dos peldaños de una escala de grises de la constante c también es una constante, a saber 10^c , cuyo logaritmo decimal es c . Las sucesivas transparencias forma una

¹ El valor recíproco de un número (que tiene que ser diferente de 0) se obtiene dividiendo 1 por dicho número. En el caso de las fracciones el recíproco se obtiene intercambiando el numerador y el denominador.

² También se dice "de tono continuo".

sucesión geométrica, las densidades una sucesión aritmética: el primer peldaño tiene la densidad c , el segundo tiene la densidad $2 \cdot c$, el peldaño número k tiene la densidad $k \cdot c$.



Escala de grises

El término **contraste** no siempre se usa en el mismo sentido. A veces se aplica a la distribución tonal de una fotografía de medio tono, otras veces a la diferencia de densidades de dos valores tonales determinados. A veces también se llama contraste a la diferencia entre la densidad máxima y mínima de un original. En este último caso es preferible hablar de **extensión tonal**.

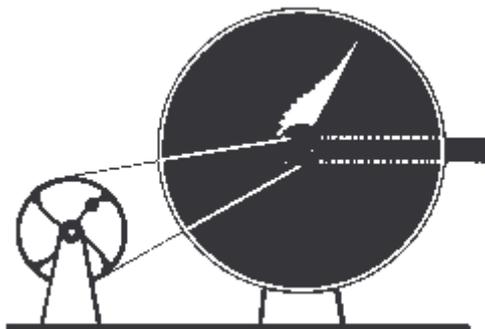
Se llama **densidad superable** de un material fotográfico sensible a la máxima diferencia de densidades de un original que puede ser reproducido de tal forma que todos los tonos grises de la reproducción estén comprendidos entre dos densidades límites de dicho material.

Hay diferentes sistemas que permiten describir cuantitativamente la **sensibilidad** de un material fotográfico. El primer sistema que se hizo famoso era el propuesto por el famoso astrónomo *Julius Scheiner* en 1894. *Scheiner* hizo girar un disco opaco con determinada velocidad, del cual se había recortado una abertura en forma de 20 anillos sectoriales concéntricos, cuyos ángulos sectoriales formaban una sucesión geométrica.

La constante de la sucesión se había determinado de tal forma que el último ángulo era 100 veces más grande que el primero. Así la constante correspondía a la raíz de índice 19 de 100, o sea aproximadamente a 1,274. Una fuente luminosa normada iluminaba el disco desde una distancia determinada. Detrás del disco se hallaba un casete (representado por la forma rectangular en nuestro esquema) que contenía el material que se trataba de examinar. Este casete se abría durante exactamente un minuto, mientras que el disco daba vueltas. El número de la primera anilla, contando desde el centro, que mostraba un mínimo ennegrecimiento bien definido después del revelado determinaba el grado de sensibilidad en la **escala de Scheiner** del material examinado. El último grado de esta escala (que más adelante se adaptaría a grados de sensibilidad más altos) correspondía a una sensibilidad 100 veces más alta que el

primero. Una diferencia de 3° Scheiner equivale aproximadamente a una doble sensibilidad, ya que la tercera potencia de la 19 raíz de 100, a saber 2,069..., es una aproximación al número 2. Los grados de *Scheiner* ya no se usan desde hace varias décadas.

Más adelante se definió un sistema de medidas en el cual la sensibilidad se doblaba exactamente por un incremento de 3 grados, el sistema **DIN**. La medición de sensibilidad DIN se basa en la exposición de los materiales a través de una escala de grises con una constante cuyo triple equivale al logaritmo decimal de 2¹. Esta constante es una buena aproximación a 0,1. La primera zona bajo la escala cuya densidad después del relevado se diferencia al menos de 0,1 del material sin exponer, determina la sensibilidad. La iluminación se efectúa bajo una luz normada que se caracteriza por una cierta aproximación a la composición espectral de la luz del día, lo que no era el caso en el sistema de *Scheiner*. La exposición depende de un obturador gravitacional.



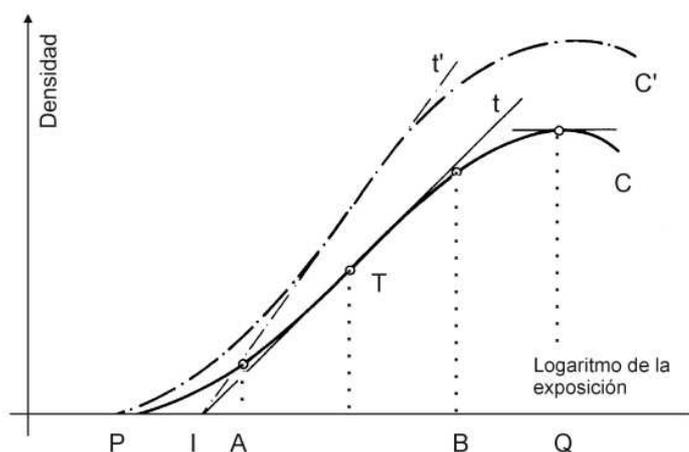
Dispositivo de Scheiner

Además del sistema DIN hoy también se usan otros sistemas para medir la sensibilidad, como el sistema americano **ASA** o el ruso **GOST**, los cuales no pueden ser convertidos en el sentido estricto de la palabra al sistema DIN, ya que no se miden de la misma manera. Para la práctica se puede afirmar que los sistemas ASA y GOST son aritméticos, lo que quiere decir que sus valores son proporcionales a la sensibilidad expresada. Para tener una referencia se puede decir que 21° DIN corresponden a aproximadamente 100° ASA y a 100° GOST. Últimamente las sensibilidades de las películas se indican en ISO, indicando tanto el valor DIN como el valor ASA.

La curva que recorre la densidad de un material fotográfico en función del logaritmo decimal de la exposición se llama **curva característica de ennegrecimiento** del material correspondiente. Esta curva varia

¹ $\log(2) = 0,301\dots$

según el tiempo de revelado. La ilustración representa dos curvas de ennegrecimiento del mismo material con diferentes tiempos de revelado. En la región de la exposición normal, entre los puntos A i B, la tangente de inversión (también llamada tangente característica) es una buena aproximación a la curva. El punto de intersección de la tangente característica con el eje horizontal del sistema de coordenadas (abscisa), el punto I, tiene la propiedad de quedar invariable para diferentes tiempos de exposición de un mismo material. El punto P corresponde a la mínima exposición que todavía produce un ennegrecimiento manifiesto. Entre los puntos P y A se halla la zona de la superexposición. A partir del punto Q se puede observar el efecto fotográfico conocido como solarización. Las películas tienen la curiosa tendencia de volver a perder densidad a partir de un cierto grado de sobreexposición; para los materiales modernos este punto suele ser muy alto. El aspecto general de la curva característica a veces se suele llamar la **gradación** del material correspondiente.



Curva característica

El valor **gama** de un material determinado es la función trigonométrica tangente del ángulo entre la abscisa y la tangente característica. El gama de todos los materiales varía según el tiempo de exposición. Si el material se revela durante mucho tiempo, el gama tiende a un valor límite. Este límite a veces se llama gama absoluto de dicho material. Cuando la curva característica se desvía demasiado de su forma típica, el gama puede ser determinado estadísticamente.

Para cualquier punto de la curva característica la subida (la función tangente) se llama el **gradiente**. El valor gama a veces también se define como el máximo gradiente de la curva.

Según su valor gama los materiales fotográficos se asignan a una de las clases siguientes: suave (gama hasta 0,7), normal (0,7 hasta 1,3),

contrastado (1,3 hasta 2,3), duro (2,3 hasta 4), extraduro (4 hasta 7), ultraduro (más de 7).

Si se hace una fotografía de un original con un intervalo de densidades D sobre un material con un gama de g , el intervalo de densidades d de la reproducción se calculará por la fórmula $d = D \cdot g$. Pongamos un ejemplo: Queremos hacer una copia de contacto sobre papel a partir de un negativo con un intervalo de densidades de $D = 1,2$ y queremos obtener una copia que tenga densidades entre 0,1 y 1,9. El intervalo de densidades de la copia tiene que ser 1,8. Según nuestra fórmula el valor gama, g , del papel sensible tiene que ser de $g = 1,8 : 1,2 = 1,5$.

Los papeles para copias se fabrican en un gran surtido de valores gama, de manera que normalmente se puede encontrar un papel que se preste al trabajo que se quiera realizar. Además el gama puede ser influenciado por el revelado, tanto por su duración como por el tipo de revelador que puede ser mas suave o mas duro.

Algunas empresas fabrican papeles con valor gama universal. Estos papeles tienen dos emulsiones: una que es exclusivamente sensible al azul y otra que es sensible al amarillo. Una de las emulsiones tiene un gradiente extremadamente suave, la otra lo tiene extremadamente duro. Según el filtro de color utilizado en el momento de exponer la ampliación (o según los tiempos de exposición a través de dos filtros diferentes) el resultado final será más suave o más duro.

Existe una posibilidad que permite obtener una copia sobre un material demasiado duro cuyos valores se mueven entre dos densidades determinadas: se trata de aplicar una exposición suplementaria con luz difusa sin el negativo (o sin el original). Esta exposición se suele llamar **exposición flash**. En el capítulo LA TRAMA veremos que esta exposición era imprescindible en la elaboración de reproducciones tramadas por los sistemas tradicionales. La luz regularmente distribuida de la exposición flash, que se puede aplicar antes o después de la exposición principal, influencia mucho más las zonas poco expuestas del material sensible que las otras, con lo que se puede conseguir una cierta compensación. Este hecho se entiende más fácilmente si se considera que la abscisa de nuestra representación gráfica de la curva de ennegrecimiento es logarítmica.

Si queremos calcular la exposición principal y la exposición flash (normalmente se determinan empíricamente) se puede proceder de la manera siguiente: primero se expone el material a través de una escala de grises (en vez del negativo). Llamemos P al tiempo de esta exposición experimental. Llamaremos t a la transparencia de la escala de grises que da el tono mínimo previsto para la copia y T la transparencia que corresponde al máximo tono de gris de la reproducción. Llamaremos n a la mínima transparencia del negativo que se trata de copiar y b a la

máxima. Ya que la luz efectiva es el producto de la exposición y de la transparencia, hallamos las ecuaciones siguientes, en las cuales E significa la exposición principal i F la exposición de flash.

$$P \cdot t = E \cdot n + F \cdot 1$$

$$P \cdot T = E \cdot b + F \cdot 1$$

E i F son dos incógnitas del sistema, para las cuales encontramos:

$$E = \frac{P \cdot (T - t)}{b - n}$$

$$F = \frac{P \cdot (t \cdot b - T \cdot n)}{b - n}$$

Reforzado i rebajado químico

Si un material fotográfico relevado aparece demasiado claro o demasiado oscuro, se puede reforzar o rebajar químicamente. Estas operaciones pueden tener una enorme influencia sobre el gama de dicho material. Los baños de reforzado suelen tener la tendencia de aumentar el gama del material correspondiente, mientras que los baños de rebajado se pueden clasificar en tres categorías: los que no cambian el gama, los que lo aumentan y los que lo reducen.

Un componente importante de la cámara que contribuye a dosificar la luz es el **diafragma**. El diafragma es un orificio con diámetro variable en el centro óptico del objetivo de una cámara fotográfica. Normalmente su forma suele ser aproximadamente circular, pero para conseguir determinados efectos también se usan formas diferentes, por ejemplo en la confección de autotipias¹ con una trama de cristal. El diafragma sobretodo tiene dos efectos: la dosificación de la luz que atraviesa el objetivo y la **profundidad de campo**.

El número que caracteriza al diafragma es el cociente de la **distancia focal**² del objetivo y del diámetro del diafragma. La luminosidad del objetivo es el mínimo diafragma posible. La sucesión de diafragmas usuales en cámaras modernas³ se forma al multiplicar reiteradamente el diafragma anterior por la raíz de 2, empezando con 1. Los números característicos de los diafragmas forman una sucesión geométrica que se suele aproximar de la manera siguiente:

¹ Imágenes tramadas para la impresión.

² Distancia entre el centro óptico del objetivo y el material sensible cuando el objetivo está enfocado a infinito.

³ Antes de la Segunda Guerra Mundial se usaba mucho una sucesión de diafragmas diferente, basada en la raíz de 10 (aprox. 3,2), lo que daba la sucesión siguiente:
1,1 1,6 2,2 **3,2** 4,5 6,3 9 12,5 18 25 36 50 71 100

1 1,4 2 2,8 4 5,6 8 11 16 22

El paso de un diafragma al próximo reduce la luz incidente por 2, ya que las superficies circulares son proporcionales al cuadrado de los diámetros.

Otro factor que influencia el tiempo de exposición de una imagen fotográfica es el factor de ampliación o de reducción. Este factor no tiene ninguna importancia en el campo de la fotografía paisajística, pero sí en el campo de la fotografía de reproducción. La fórmula que vamos a citar a continuación permite calcular la proporción entre el tiempo de exposición de una reproducción ampliada por el factor A y otra por el factor B. Una reducción por r se interpreta como una ampliación por el factor 1/r.

$$\text{exp}(A) : \text{exp}(B) = \left(\frac{1+A}{2}\right)^2 : \left(\frac{1+B}{2}\right)^2$$

En el caso especial de B = 1, resulta la fórmula:

$$\text{exp}(A) = \left(\frac{1+A}{2}\right)^2 \cdot \text{exp}(1)$$

Los efectos fotográficos

En ciertos casos límites las emulsiones al gelatinobromuro de plata (las emulsiones fotográficas más estudiadas de la historia) tienen comportamientos atípicos que no se dejan explicar con las leyes de la sensitometría. Estos comportamientos anormales se llaman **efectos fotográficos**. A alguno de ellos todavía no se ha encontrado ninguna explicación científica. A continuación comentaremos brevemente algunos de los efectos fotográficos más importantes.

Cuando una zona intensamente expuesta de una emulsión fotográfica colinda con otra que ha sido poco expuesta, la primera gasta substancia reveladora de la segunda y además emite unas substancias que ralentizan el revelado y que han sido producidas por la propia reacción de revelado. El resultado es un ennegrecimiento reforzado del lado de la zona muy expuesta y un margen blanco que sigue esta zona. Este efecto despierta la sensación de un límite muy marcado. Este efecto que se manifiesta especialmente cuando el revelador no se mueve, se llama **efecto de Eberhard**.

El **efecto de Sabattier**, que a menudo se confunde con la solarización, consiste en una inversión parcial de los valores de gris de un material fotográfico, que había sido expuesto de manera normal, pero que luego durante un momento determinado del revelado se ha sometido a determinada cantidad de luz difusa.

La **solarización** es un efecto, que se caracteriza por la disminución de la densidad a partir de cierto grado de sobreexposición, correspondiente al punto Q de nuestro esquema. Así por ejemplo en la fotografía de una bombilla eléctrica nos puede aparecer el filamento más oscuro que su entorno.

El **efecto de Schwarzschild** es una desviación de la regla de reciprocidad según la cual se calcula la exposición multiplicando el tiempo de exposición con la intensidad luminosa. Pero gracias al efecto de *Schwarzschild* no se obtiene el mismo resultado con una exposición de un segundo como con 1000 exposiciones de una milésimo se segundo cada una.

El **efecto de Herschel** es el hecho que una imagen latente de una emulsión ortocromática (que es insensible a la luz roja) puede ser reducida por esta misma luz roja a la que es insensible.

Finalmente vamos a mencionar dos efectos que parecen contradecirse. En realidad no hay ninguna contradicción, ya que las intensidades de luz y los tiempos de exposición bajo los cuales se pueden observar los dos efectos, son muy diferentes.

El primero es el **efecto de Weinland**: si se da una breve exposición previa con luz difusa de gran intensidad a una emulsión fotográfica, la sensibilidad umbral (la sensibilidad a exposiciones muy débiles) del material aumenta. Este efecto también permite el corolario siguiente: Si una película ha sido expuesta con un tiempo extremadamente corto, se puede conseguir un aumento de sensibilidad con una exposición difusa posterior.

El **efecto de Clayden** consiste en el hecho de que el ennegrecimiento de una fotografía que se había obtenido con una exposición corta, pero intensa, puede ser *reducido* por una exposición posterior con luz difusa de poca intensidad.

Estos son sólo los más importantes de los efectos fotográficos.

El positivo fotográfico

Copia a la sal

La copia a la sal era uno de los primeros sistemas de positivado fotográfico y fue inventado en 1834 por el mismo *Fox Talbot*.

El papel se sumergía en agua salada, se secaba y luego se sensibilizaba en una solución de nitrato de plata. Ahora el papel contenía cloruro de plata y era sensible a la luz.

El papel así preparado se exponía a la luz solar a través de un negativo y se revelaba.

Finalmente se fijaba en hiposulfito de sosa u otro fijador, se enjuagaba y se secaba.

El procedimiento se empleó hasta aproximadamente 1860, cuando fue definitivamente relevado por la copia al albumen o albuminotipia que daba mejores resultados.

Albuminotipia

Este sistema fue inventado en 1847 por *Claude Félix Abel Nièpce de Saint-Victor*. El procedimiento fue mejorado en 1850 por *Blanquart-Evrard*.

Nièpce de Saint-Victor hacía sus primeras albuminotipias sobre placas de vidrio. Más tarde la albuminotipia se usaba sobretodo para obtener positivos fotográficos sobre papel.

En el siglo XIX la albuminotipia era muy popular debido a su facilidad de aplicación. Entre 1850 y 1900 el papel a la albúmina se fabricaba industrialmente.

El procedimiento es el siguiente: se baten las claras de varios huevos conjuntamente con unas gotas de una solución de yoduro potásico concentrado. Se dejaba reposar y se filtraba. El papel se sumergía en esta solución durante unos minutos y luego se dejaba secar.

Este papel se sensibilizaba en una mezcla de nitrato de plata, de ácido acético y de agua. Al cabo de un tiempo el papel se secaba.

Una vez expuesto, el papel se revelaba en una solución de ácido gálico, se enjuagaba bien y finalmente se fijaba en una solución de tiosulfato de sodio. Finalmente el papel se enjuagaba y se secaba.

El Cliché-Verre

A partir de 1853, los tres famosos representantes de la Escuela de Barbizon, *Camille Corot*, *Jean-François Millet* y *Charles-François Daubigny*, usaban la copia fotográfica de contacto para copiar obras dibujadas. El procedimiento se conoce bajo el nombre de **Cliché-Verre** y a veces también se llama **procedimiento de Grandguillaume**, **procedimiento de Dutilleux** o **procedimiento de Cuvelier** en honor a los artistas que habían inventado el procedimiento en 1850.

El dibujo se efectuaba con una punta sobre un cristal recubierto de una laca opaca o roja. A veces también se utilizaba una placa fotográfica ennegrecida totalmente. Por contacto se pueden hacer un número ilimitado de copias sobre papel fotográfico.

Se pueden ampliar las posibilidades del Cliché-Verre haciendo dos o más exposiciones, lo que genera dos o más tonos de gris. Para hacer esto, primero se dibujan las líneas que han de dar el tono más oscuro. Con un sistema que asegura el registro¹ exacto, todas las copias se insolan con un tiempo de exposición constante. Los papeles sensibles se guardan en una caja opaca, sin revelarlos. En el cliché se dibujan aquellas líneas que corresponden a un gris más claro de los futuros positivos. Manteniendo el registro exacto, los papeles sensibles se vuelven a exponer otra vez, normalmente con menos luz que la primera vez. Este procedimiento se puede repetir varias veces.

Las zonas que estaban transparentes en el momento de la primera exposición también dejarán penetrar la luz en las insolaciones siguientes. Adaptando los tiempos de insolación se pueden conseguir los tonos de gris deseados.

En analogía con el aguafuerte (ver el capítulo sobre la calcografía) un Cliché-Verre de varias insolaciones también puede partir de un negativo en el cual se van tapando zonas antes de cada nueva insolación.

Actualmente la gran mayoría de las copias fotográficas se efectúan sobre papel al bromuro de plata que se encuentra en el comercio en una gran diversidad de calidades, gradaciones, superficies y tonalidades. Estos materiales trabajan con el mismo principio que los materiales usuales para hacer los negativos: en una delgada capa de gelatina se hallan cristales de bromuro de plata. Las partículas influenciadas por el efecto de la luz reaccionan con el revelador y se forma plata metálica. Las moléculas de

¹ Por ejemplo con un perforador de registro, mediante la colocación de los materiales apoyados a tres clavos o similar.

bromuro de plata restantes se eliminan en el baño de fijación. Finalmente el enjuague final sirve para eliminar los restos de fijador y otros productos solubles al agua de la emulsión.

Estos papeles se procesan con facilidad y pueden ser sometidos a rebajados, reforzados, virados y otros tratamientos químicos.

No vamos a discutir aquí en detalle estas técnicas que se hallan descritas en miles de publicaciones. Vamos a limitarnos a comentar sistemas que suelen ser bastante menos conocidos por los aficionados a la fotografía.

Desde la primera época de la fotografía hasta el principio del siglo XX se usaban un gran número de sistemas diferentes para positivar las imágenes negativas y era corriente que los fotógrafos prepararan ellos mismos sus papeles. Además de los procedimientos corrientes existían unas técnicas más nobles, como por ejemplo la **platinotipia** o los **procedimientos al bicromato**.

A continuación explicaremos las más importantes de las técnicas al bicromato, las llamadas técnicas nobles, basadas en la acción de las sales bicromatadas sobre los coloides bajo la influencia de la luz. El entendimiento de estas técnicas facilitará el entendimiento de otras técnicas gráficas, sobretodo de la fototipia, de la fotolitografía indirecta, del heliograbado y del rotograbado tradicional.

Los procedimientos al bicromato

A pesar de que los bicromatos de potasio o de amoníaco no presentan ninguna fotosensibilidad en su estado puro, originan reacciones fotoquímicas si se les mezcla con coloides, como por ejemplo goma arábica, cola de pescado o gelatina. En efecto, la luz provoca una aptitud momentánea del bicromato para reaccionar con el coloide, el cual se endurece y se vuelve menos soluble al agua a medida que se prolonga o se intensifica la exposición a la luz. Se dice que el bicromato curte la gelatina o el coloide.

Diferentes sistemas al bicromato, también llamados procedimientos nobles, eran bastante usuales a finales del siglo XIX y se consideraban muy artísticos. Varios de estos sistemas se han mantenido hasta nuestra época, a veces en formas modificadas o adaptadas y un sistema de impresión basado sobre el mismo principio que los procedimientos nobles, la fototipia, todavía hoy se usa en ciertas ocasiones para la confección de impresos de muy alta calidad. También están basadas sobre

el mismo principio una serie de sistemas para copiar fotolitos¹ sobre plancha de offset o para confeccionar clichés de zinc, pero no usan estos sistemas que nos interesan en este capítulo: sólo se limitan a sistemas que no permiten hacer reproducciones de tono continuo.

Fue *Mungo Ponton* quien usó por primera vez las sales bicromatadas en el campo de la fotografía, cuando descubrió que los papeles bañados en una solución de bicromato potásico cambiaban de color bajo la influencia de la luz. Dicen que *Mungo Ponton* en el mismo año utilizó sus observaciones para copiar dibujos a la pluma por contacto. Se fijaron las imágenes con un enjuagado extenso.

En 1852 *Talbot* descubrió la fotosensibilidad de la gelatina bicromatada y se dio cuenta que la gelatina bicromatada expuesta a la luz perdía su solubilidad en el agua y su capacidad de absorción.

En 1855 el químico francés *Alphonse Louis Poitevin* descubrió las bases del procedimiento al carbón y de la fototipia. Esta última fue perfeccionada alrededor de 1868 por *Albert*, que le dio prácticamente su forma actual.

El procedimiento al carbón

El **procedimiento al carbón** es un sistema fotográfico que permite producir fotos inalterables a base de pigmentos como hollín o carbón en polvo. El sistema inventado por *Poitevin* en 1855 todavía no correspondía a la forma mejorada elaborada más adelante. *Poitevin* emulsionó un papel bien encolado con una mezcla de hollín y de gelatina bicromatada. Una vez seco el papel así preparado se insoló bajo un negativo de medio tono y a continuación se le reveló con agua, lo que hizo desprenderse la gelatina de las zonas poco expuestas, mientras que la gelatina de las zonas expuestas se habían endurecido tanto que se quedaba adherida sobre el papel de soporte. Así *Poitevin* obtenía de esta manera un positivo con bonitas sombras y luces blancas, pero sin medios tonos, de manera que no se trataba de una auténtica imagen de medio tono, sino de una fotografía de línea. Nuestro dibujo esquemático que representa el sistema mejorado nos ayudará a entender el motivo por la falta de los medios tonos: la gelatina bicromatada sólo se queda adherida sobre su soporte dónde la luz ha podido curtila hasta una profundidad suficiente, para que el agua del revelado no se pudiera filtrar por debajo de la capa insolada; las otras zonas se desprenden del soporte.

¹ Un fotolito es un negativo fotográfico transparente de alto contraste (sólo blancos y negros) para hacer copias por contacto sobre planchas de offset.

El primero que entendía esta circunstancia y que supo remediar el error era el francés *Adolphe Fargier*, quien creó el procedimiento siguiente en 1861: *Fargier* emulsionó una placa de vidrio con una capa de gelatina bicromatada teñida y la insolaba, de la misma manera como ya lo había hecho *Poitevin*. Antes del revelado recubrió la capa con un poco de colodión, que se secó para formar una delgada película. La placa se revelaba con agua caliente, con lo que el lado no insolado de la capa de gelatina se desprendía de la placa, mientras que el lado insolado quedaba adherido a la película de colodión, de manera que se conservaban también las capas delgadísimas. La imagen acabada de revelar se transfería con la gelatina hacía abajo sobre una hoja de papel. Luego el colodión se disolvía con éter. El resultado era una imagen de medio tono auténtica.

Según este mismo procedimiento el inglés creó en 1864 la fotografía al carbón con transferencia, que es la versión definitiva de este procedimiento. El papel empleado para hacer la copia, el **papel carbón** o papel pigmento, es un papel bien encolado sobre el que se vierte una delgada capa de gelatina teñida.

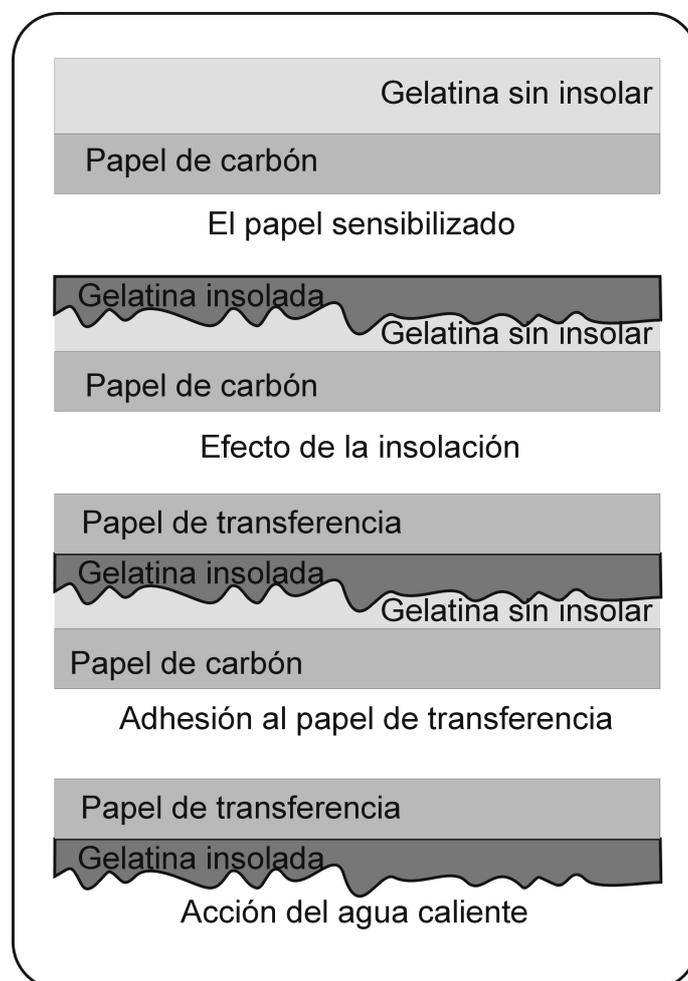
Para preparar el papel al pigmento hay que encolar el papel con gelatina dura, que hay que endurecer todavía más después del secado, por ejemplo con una solución de formol. Sobre esta base se vierte la gelatina teñida, que puede tener una composición parecida a esta:

	1 l	agua
	70 g	de gelatina blanca dura
1 a	3 g	hollín
40 a	50 g	azúcar
	15 g	amoníaco

La capa de gelatina regularmente distribuida y seca tiene que sensibilizarse en una solución de bicromato potásico con una concentración de 1 a 5 % a la cual se han añadido algunas gotas de amoníaco. El papel pigmento bañado en esta solución se estruja con la gelatina hacía abajo con un rodillo de goma sobre una placa de vidrio, para liberarlo de cualquier gota de líquido y a continuación se cuelga en un sitio oscuro para que se seque. A partir de ahora el papel pigmento es sensible a la luz y sólo debe ser manejado con luz roja o amarilla inactínica. La insolación del papel pigmento seco en contacto con un negativo de medio tono se efectúa bajo la luz solar o mejor, bajo una lámpara de luz ultravioleta que hace el tiempo de insolación independiente de las circunstancias meteorológicas.

Después de la insolación se pone el papel en una bandeja con agua fría para empezar a reblandecer la gelatina. El **papel de transferencia** o de transporte que es el soporte definitivo de la imagen en el caso de la

transferencia simple y sólo es un soporte provisional en el caso de la doble transposición, se pone en contacto con la imagen en la misma bandeja y se estrujan ambos papeles para evitar burbujas de aire.



El procedimiento al carbón

El papel para la transferencia simple está previsto en su superficie de una capa de gelatina dura, sobre la que la gelatina biocromatada queda adherida definitivamente. Después de adherirse bajo la presión del rodillo, ambos papeles se cuelgan para secar durante cosa de una hora. Luego se ponen en una bandeja con agua caliente (de 30 a 40 °C) donde se dejan separar al cabo de poco tiempo. Ahora la capa de gelatina está adherida al papel de transferencia y hay que revelarla durante aproximadamente 20 minutos en agua cada vez más caliente (hasta unos 60 °C). Durante este tiempo todas las partes de gelatina no insoladas se van disolviendo, y al contrario del primer procedimiento de *Poitevin*, exclusivamente estas. El resultado es un relieve de gelatina teñida, cuyo espesor en cada zona está en proporción con la exposición a la luz durante

la insolación. Ya que la gelatina está teñida, se ha formado un positivo fotográfico (negativo del negativo) cuyos valores tonales recorren sin escalones todas las densidades entre el negro intenso (a condición que la gelatina contenga suficiente pigmento) y el blanco puro. Se trata pues de una auténtica imagen de medio tono (o de tono continuo).

En nuestro esquema se puede apreciar por qué el agua provoca un desprendimiento total del papel carbón del relieve de gelatina, mientras que el relieve se queda adherido sobre la superficie del papel de transferencia. El tiempo de exposición está calculado de tal manera que incluso en las partes más claras del negativo la cantidad de luz que penetra la capa de gelatina bicromatada, no basta para endurecerla hasta el nivel del papel. Hay que considerar que el efecto de la luz queda amortiguado a medida que esta penetra en las profundidades de la capa de gelatina, ya que su pigmento la va absorbiendo. De otra parte entre la capa gelatinosa del papel de pigmento y la superficie del papel de transferencia no hay ninguna capa de gelatina bicromatada sin insolar.

Después del revelado se recomienda curtir definitivamente la capa en una solución de formol al 2 %.

El procedimiento al carbón actualmente ha quedado prácticamente en el olvido como sistema de expresión artística. Pero su técnica todavía encuentra su aplicación en la elaboración de formas serigráficas y de cilindros de rotograbado. De paso sea mencionado, que la primera fotografía de color de la historia (*Ducos du Hauron*, 1869) se obtuvo por la sobreimpresión de 3 fotografías al pigmento en exacto registro.

El procedimiento a la goma

El **procedimiento a la goma** es un sistema basado sobre el mismo principio que la fotografía al carbón, pero sin necesidad de transferencia. Este procedimiento fue elaborado en 1858 por *Pouncy*. Después el procedimiento cayó en el olvido hasta que en 1894 fue mejorado por *Robert Demachy*. El procedimiento a la goma se distingue del procedimiento al pigmento descrito más arriba esencialmente en los puntos siguientes:

- * Se substituye la gelatina por goma arábica.
- * La capa es extremadamente delgada.
- * No tiene lugar ninguna transferencia.

La delgadísima capa impide la formación de imágenes muy contrastadas, pero precisamente la solución a este problema se convertiría en una

de las más importantes características del procedimiento: aproximadamente a partir de 1895 las imágenes se hacían con varias capas superpuestas en registro exacto.

Típicamente se imprimían 3 capas, la de las **luces**, la de **los tonos intermedios** y la de las **sombras**. Para la primera capa se usaba el tiempo de exposición más largo y el colorante más claro, para la última, el colorante más oscuro y el tiempo de exposición más corto. Variando los tiempos de exposición, los colorantes y su concentración en las diferentes capas se puede dominar toda la distribución tonal de la imagen. Se dice que el procedimiento a la goma multicapas es un sistema de **separación tonal**. Por analogía a una técnica manual bien conocida se podrían denominar como camafeos¹ fotográficos a los sistemas fotográficos de separación tonal.

El papel escogido para el procedimiento a la goma primero tiene que ser muy bien encolado a fin de evitar la penetración de la goma bicromatada en sus poros. Para evitar esto se baña el papel en una solución de gelatina al 2 o al 3 %.

La solución de goma arábica fotosensible se prepara de la manera siguiente: en 100 centímetros cúbicos de agua se disuelven de 30 a 40 g de goma arábica (esto puede durar varios días). Se recomienda añadir unas gotas de ácido carbólico para evitar la fermentación de la solución. En otro frasco se prepara una solución de bicromato de potasio al 10 %, a la cual se añaden unas gotas de amoníaco. Inmediatamente antes de emulsionar el papel se mezclan una parte de solución de goma con dos partes de solución de bicromato y la cantidad necesaria de colorante. Esta solución fotosensible ahora se aplica con un pincel sobre la superficie del papel. Cuando el papel esta seco se le insola bajo una luz ultravioleta, o a la luz solar, respetando el registro perfecto. El papel insolado debe ser revelado enseguida, ya que la reacción desencadenada por la luz tiende a continuar en la oscuridad, como es típico para todos los procedimientos al bicromato.

La copia a la goma se revela con agua de entre 18 y 20 °C durante 5 a 15 minutos. Luego la copia se pone a secar. Una vez seco, el papel puede ser preparado con la próxima capa fotosensible. Después de la última copia, el papel se pone en una solución de 50 cm^3 de bisulfito sódico en 1 litro de agua, para eliminar los restos de cromo y el tono amarillento de la imagen. Luego se enjuaga bien la imagen y se la seca.

¹ En orfebrería se llama camafeo una figura tallada en una piedra que tiene dos capas de color diferente.

La carbrotipia

Ni el procedimiento al carbón ni el procedimiento a la goma bicromatada permiten la ampliación directa desde el negativo original, ya que los tiempos de exposición serían demasiado largos. Al principio del siglo XX se elaboraron sistemas para superar esta limitación que permitían obtener copias de pigmento directamente a partir de una ampliación sobre papel de bromuro de plata. La **carbrotipia** fue inventada en 1905 por *Manly*, quién llamó **ozobromía** a esta técnica. En 1919 el invento fue mejorado por *Farmer*, quien llamó **carbrotipia**¹ al procedimiento mejorado.

Aquí la matriz es una ampliación sobre papel al bromuro de plata y la transferencia se hace químicamente, sin intervención de la luz. La ampliación tiene que ser bien fijada y enjuagada generosamente. Después del secado se endurece la copia sumergiéndola 10 minutos en una solución de formol al 5 %. Luego se vuelve a enjuagar y a secar la ampliación. El papel carbón se sumerge unos 3 minutos en el baño siguiente, que sólo sirve una sola vez:

<i>Agua</i>	1000	cm ³
<i>Bicromato de potasio</i>	15	g
<i>Ferricianuro de potasio</i>	15	g
<i>Bromuro potásico</i>	15	g

Luego el papel se mete enseguida al baño siguiente durante 20 o 30 segundos, sin ningún baño intermedio:

<i>Agua</i>	1000	cm ³
<i>Aciso acético</i>	2	cm ³
<i>Acido clorgídrico</i>	2	cm ³
<i>Formol</i>	10	cm ³

La copia al bromuro de plata que mientras tanto ha estado esperando en un baño de agua, se coloca con la imagen hacía arriba sobre una placa de vidrio. Encima se pone el papel carbón, capa contra capa, y se comprime el todo con un rodillo de goma. Luego los papeles se dejan secar durante 20 o 30 minutos. Durante este tiempo la imagen de plata de la emulsión al bromuro de plata se va rebajando por el ferricianuro de potasio y el cromo hexavalente de la capa de pigmento se convierte en cromo trivalente, el cual curte la gelatina, de tal manera que ahora la

¹ De **CAR**bon y **BRO**mo.

gelatina en cada zona queda curtida en proporción al ennegrecimiento de la zona de la imagen de plata que le corresponde. Después de aquel tiempo de contacto ambos papeles se sumergen en agua fría hasta que se separen. En seguida se mete un papel de transferencia mojado con anterioridad encima del papel carbón. La transferencia y el revelado se efectúan de la misma manera como en el caso de una copia de pigmento ordinaria.

La ampliación al bromuro de plata puede servir para hacer unas cuantas carbrotipias más. Para ello hay que enjuagar bien la ampliación y volver a revelarla a la luz del día. Después de un enjuagado generoso se puede hacer otra carbrotipia.

La oleotipia

Este procedimiento noble fue inventado en 1855 por Poitevin. La oleotipia y los sistemas parecidos forman un puente entre la fotografía y la imprenta. Como la litografía y la fototipia, esta técnica se fundamenta en la incompatibilidad del agua y del aceite.

El papel tiene que estar recubierto de una capa de gelatina que se obtiene bañándolo en una solución de gelatina al 6 %. Luego el papel se cuelga hasta que se seque. La gelatina se sensibiliza en una solución de dos partes de alcohol etílico y una parte de una solución de bicromato amónico al 6 %. El bicromato de potasio no sirve en este caso, ya que es incompatible con el alcohol. Esta solución se aplica con un trozo de algodón encima de la gelatina en un cuarto iluminado con luz amarilla inactiva. Luego el papel se insola bajo un negativo de medio tono y se revela en agua fría durante una hora, hasta la desaparición completa de la imagen amarillenta de cromo. Antes de aplicar el colorante, la copia se sumerge unos 10 minutos en agua un poco más caliente, de 25 a 30 °C, pero sin superar esta temperatura, ya que no se pretende provocar un desprendimiento de la capa de gelatina, sólo una hinchazón de la misma. Luego la superficie de la copia se limpia con un trapo, sin dejar arañazos ni hilitos sueltos.

La superficie muestra un relieve marcado, formado por las zonas claras hinchadas y las oscuras curtidas. Este relieve resalta cuando se aplica la pintura grasa con un pincel. Las partes claras rechazan la pintura grasa, mientras que las partes insoladas la aceptan mejor cuando más grande era la cantidad de luz que se había hecho efectiva durante la insolación.

Este procedimiento deja una gran libertad al fotógrafo, ya que puede insistir más o menos con el pincel según el efecto deseado. Incluso se

pueden aplicar diferentes colorantes en una misma copia. Si el resultado no es satisfactorio, se puede eliminar la pintura grasa con un disolvente adecuado. Durante el entintado conviene no dejar secar demasiado la gelatina, ya que empezaría a aceptar colorante en las zonas claras.

La oleobromía

La oleobromía es una combinación de la oleotipia con la ozobromía la cual permite producir oleotipias de gran tamaño sin necesidad de elaborar un negativo del mismo tamaño. Este sistema fue elaborado en 1907 por *Welborne Piper*.

El papel al bromuro de plata que se va a usar para hacer la oleobromía tiene que tener una capa de gelatina gruesa, no demasiado dura. Se revela con un revelador que no curte la capa, como *Metol-Hidroquinona*, o *Rodinal*. La ampliación tiene que ser fijada y enjuagada abundantemente y finalmente tratada en un baño de la composición siguiente durante unos cinco minutos:

<i>Agua</i>	1000	cm ³
<i>Sal común</i>	85	g
<i>Sulfato de cobre</i>	85	g
<i>Bicromato de Potasio</i>	15	g
<i>Ácido clorhídrico</i>	11	cm ³

La copia, cuya imagen de plata ha sido substituida por una tenue imagen de bromuro de plata, tiene que ser enjuagada generosamente, luego fijada (el baño de fijador tiene que ser nuevo) y otra vez enjuagado. Después del sacado se baña el papel en agua templada de 25 a 30 °C, según la profundidad de relieve que se desee. La copia fregada ya está lista para ser entintada, igual que en el caso de la oleotipia.

La oleotipia y la oleobromía indirecta

En 1909 *Hewitt* inventó la oleobromía indirecta, una forma manual de la fototipia (ver el capítulo "LA FOTOTIPIA"). La oleobromía indirecta es la transferencia de la capa de pintura aplicada en la superficie de una oleobromía sobre un nuevo soporte mediante una prensa de rodillos. La oleotipia indirecta es el procedimiento análogo derivado de la oleotipia. Como en el caso del procedimiento a la goma, también aquí se suelen imprimir dos o tres capas de pintura, una encima de la otra, respetando

escrupulosamente el registro, lo que todavía aumenta la libertad que concede la oleotipia.

La pinatipia

La **pinatipia** es un procedimiento que fue muy importante al principio del siglo XX para obtener copias fotográficas de color sobre papel o sobre material para diapositivas. Todavía hoy se utilizan procedimientos derivados de la pinatipia, como por ejemplo el **Dye-Transfer** de la empresa *Kodak*, con el que se pueden hacer copias de color a partir de separaciones o el famoso sistema **Technicolor** que todavía se usa a veces para hacer las copias de las películas cinematográficas comerciales.

El físico y poeta francés *Charles Cros* creó en 1881 su hidrotipia que sería el fundamento de la pinatipia. *Léon Didier* y Ernst König mejoraron la hidrotipia, le cambiaron el nombre por el de pinatipia y sobre todo tuvieron el mérito de encontrar los colorantes apropiados.

El principio de la pinatipia es el siguiente: una placa de vidrio recubierta de una capa de gelatina blanda se sensibiliza a la luz en una solución de bicromato de potasio al 2 % y se la insola bajo de un positivo de medio tono (diapositiva). Después de un enjuagado exhaustivo que elimina todos los restos de cromo, la placa se pone en una solución de colorante para pinatipia. La gelatina no expuesta a la luz absorbe rápidamente el colorante, mientras que las partes insoladas y curtidas aceptan más o menos colorante, según su grado de exposición, de manera que se obtiene una imagen de medio tono. Después de un corto enjuague se pone la placa en contacto con la capa de gelatina no fotosensible del papel de transferencia que absorbe el colorante de la placa sensibilizada. La placa sensibilizada sirve de matriz a partir de la cual se pueden obtener un gran número de copias. El papel de transferencia puede recibir sucesivamente el colorante de diferentes matrices, como por ejemplo de 3 separaciones de color tratadas con 3 colorantes apropiados.

Los colorantes usados para la pinatipia tienen que cumplir unas exigencias muy determinadas. En su libro '*Die Farbenphotographie*'¹ *E. König* menciona las siguientes condiciones exigibles a los colorantes de la pinatipia:

- 1 *Tienen que ser solubles en agua fría.*
- 2 *Tienen que teñir intensamente la gelatina blanda, sin curtir, pero no deben teñir en absoluto la gelatina curtida al máximo.*

¹ La fotografía de los colores.

- 3 *No deben dejarse disolver por el agua del enjuague.*
- 4 *Tienen que dejarse absorber rápidamente por la capa de gelatina blanda del papel de transferencia en contacto con la capa coloreada.*
- 5 *La nitidez del dibujo tiene que conservarse durante el secado de las imágenes y no debe disminuir durante un enjuague prolongado.*
- 6 *Los colorantes tienen que ser inalterables a la luz.*

La Woodburytipia

Vamos a describir aquí brevemente un sistema que es difícil de clasificar, gracias a sus características peculiares. Ya que se trata de un procedimiento basado sobre la gelatina bicromatada, lo ponemos aquí, a continuación de los procedimientos nobles.

Alrededor de 1864 *Walter Bentley Woodbury* patentó este curioso sistema, que solo fue utilizado esporádicamente durante los próximos 20 años. El procedimiento se realiza en los pasos siguientes:

Una placa se recubre generosamente con una capa de gelatina bicromatada y pigmentada. Esta capa se expone a la luz a través de un negativo fotográfico. Después de lavar la gelatina con agua obtenemos un relieve dónde las capas más espesas corresponden a las partes más oscuras del original. Una vez seca la gelatina, se pone una plancha de plomo¹ encima de ella y se la somete a una alta presión en una prensa especialmente diseñada. La presión hace aparecer un relieve en la superficie del plomo, cuyas profundidades son proporcionales a la tonalidad del original.

Se vierte gelatina pigmentada en el hueco de la placa de plomo y se aprieta una hoja de papel encima de la placa. Después de fraguar la gelatina, se podía separar el papel del molde y aparecía una reproducción de excelente calidad que apenas se podía distinguir de una fotografía original.

Ahora el molde de plomo estaba libre para hacer otra copia.

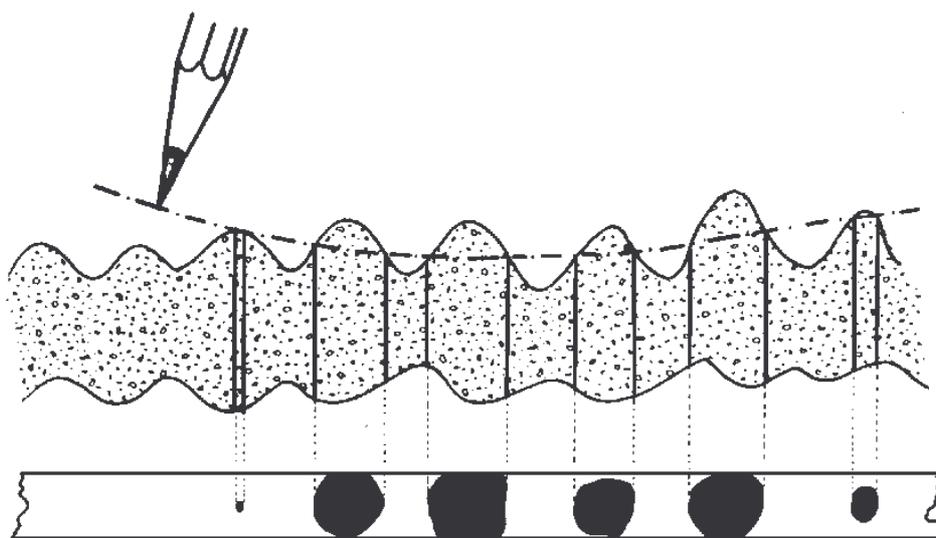
Las dificultades y la lentitud del proceso perjudicaron mucho a este procedimiento.

¹ Más adelante el plomo fue substituido por estaño.

La trama

En este libro la palabra **trama** tendrá un significado un poco más general de lo que es usual en la literatura sobre artes gráficas, por la simple razón de que no he encontrado ninguna expresión que describiera mejor el concepto del cual quiero hablar aquí.

En tipografía, como en la mayoría de los sistemas de impresión tradicionales (excepciones: calcografía, fototipia) en una sola pasada por la prensa no se pueden depositar capas de tinta de grosor diferente, así que para estos sistemas de impresión la reproducción de originales de medio tono sólo se puede solucionar de dos maneras: podemos sobreimprimir diferentes formas correspondientes a las diferentes tintas del original (camafeo) o podemos estructurar la forma única de tal manera que la impresión de una sola tinta simule diferentes tonos de gris si se contempla el impreso desde una distancia suficiente que nos impida ver los elementos de la estructura. Es a una estructura de estas características que nos referiremos a continuación cuando hablemos de una trama.



Formación de una trama en un dibujo al lápiz

El grabador xilográfico a contrafibra crea una trama manual, cruzando líneas (blancas) de diferente anchura con otras líneas blancas bajo

diferentes ángulos. El grabador calcográfico al buril crea una trama similar a base de líneas negras, a pesar de la posibilidad de la calcografía de transferir gruesos de tinta variables. El aguafortista (ver el capítulo sobre LA CALCOGRAFÍA) dispone de una trama muy especial que constituye el grano de resinas del sistema al aguainta, con el cual no sólo se puede controlar la superficie de la plancha sino también la profundidad de mordido en las diferentes zonas, de tal manera que en el resultado final los diferentes granos imprimen varios gruesos de tinta diferentes. El litógrafo (ver el capítulo sobre LA LITOGRAFÍA) también usa una estructura tramada similar a la del aguainta, el grano del **crachis** o **estarcido**, aplicado sobre la piedra mediante un cepillo y un colador con tinta litográfica. El litógrafo y el dibujante a lápiz pueden aprovechar el grano de su soporte de dibujo (piedra granulada, papel) para obtener una trama que contiene granos de tamaño variable, según la presión que se ha ejercido sobre el lápiz. Cuando, dibujando sobre un papel granulado, la presión ejercida sobre la punta del lápiz aumenta, podemos observar dos efectos: La superficie del papel arranca más grafito a la mina y la superficie del papel cubierta de grafito aumenta, ya que la mina penetra en zonas más profundas del papel. Este es el sentido del dibujo esquemático.

Los procedimientos manuales tienen un valor artístico y artesanal que las técnicas industriales más perfeccionadas nunca podrán igualar. De otra parte los procedimientos industriales trabajan de una manera más segura, más rápida y con una objetividad nunca equiparable a un sistema manual. Muy pronto en el curso de la historia se inventaron sistemas fotomecánicos para reproducir ilustraciones que permitieron substituir los sistemas manuales como el dibujo manual directamente sobre la piedra, la calcografía manual o la xilografía. Al principio se intentaba obtener una traducción de los valores tonales en una trama blanca y negra partiendo de estructuras naturales, como papel, tela, etc. Más adelante las estructuras para el tramado fotomecánico, las tramas, se elaboraban mecánicamente. La técnica que permite traducir un original de tono continuo (o de medio tono) en una estructura blanca y negra que simula los tonos de gris originales se llama **autotipia**.

En el campo de las artes gráficas se distingue entre tres tipos de originales fotográficos: La fotografía de **medio tono** (o de **tono continuo**), la fotografía de **línea** y la fotografía **tramada**. Las películas al gelatinobromuro de plata correspondientes tienen los sufijos correspondientes. La fotografía de tono continuo trabaja con materiales del tipo **tone** (por ejemplo *Gevatone*), el único tipo que permite reproducir medios tonos auténticos que pueden pasar por todos los matices entre un blanco puro y el negro más intenso, igual que en la fotografía tradicional o

artística, la cual pertenece exclusivamente al dominio de la fotografía de medios tonos. La fotografía de líneas da reproducciones sin tonos de gris, exclusivamente con zonas blancas y zonas negras. Los materiales ultra duros que se empleaban en este campo (antes de la era digital) se caracterizaban por el sufijo **line** o **lith** (por ejemplo *Kodalith*). Los materiales "lith" son más contrastados que los "line".

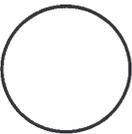
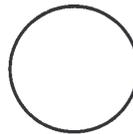
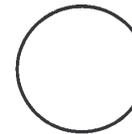
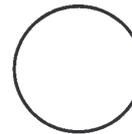
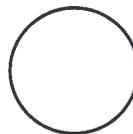
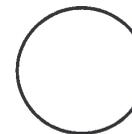
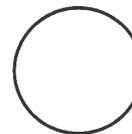
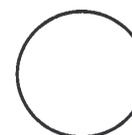
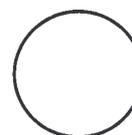
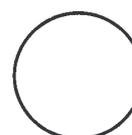
La autotipia o fotografía tramada tiene la micro estructura de una fotografía de línea (si uno contempla los puntos de trama individuales), pero el observador tiene la sensación de contemplar una auténtica fotografía de medios tonos, gracias a sus elementos tramados de tamaño variable.

Todos los sistemas autotípicos clásicos (los de antes de la era digital) se basan en el hecho de que los materiales ultra duros de tipo "lith" tienden a reproducir la mayoría de los tonos grises o bien como negro, o bien como blanco, gracias a su curva característica extremadamente empinada, en la cual incluso un pequeño aumento de exposición puede ser decisivo para convertir una zona blanca en otra perfectamente negra. Para aumentar la dureza de los materiales hay diferentes posibilidades, sobre todo el uso de un revelador duro, la combinación de rebajado y reforzado o la copia reiterada sobre material extremadamente duro. Los materiales más recomendados eran los de tipo "lith".

Los primeros intentos en el campo de la autotipia ya fueron emprendidos en 1852 por Talbot, quien exponía materiales fotográficos a través de una gasa negra. Algunas fuentes mencionan los intentos parcialmente exitosos de *M. Berchtholds* en 1857, de *Egloffstein* alrededor de 1865 o de *Max Jaffé*. Estos sistemas no eran esencialmente diferentes de la solución definitiva establecida en 1882 por *Georg Meisenbach*. Otros inventores emprendieron caminos totalmente diferentes en su búsqueda del tramado de los medios tonos, y en algún caso parece que obtuvieron cierto éxito. Estas aproximaciones a la autotipia desaparecieron casi íntegramente cuando se introdujo el sistema de *Meisenbach*, debido a las grandes dificultades técnicas inherentes como a su éxito limitado.

Meisenbach patentó su primer sistema en 1882. Meisenbach fotografiaba una diapositiva de medio tono en tres pasos sobre material fotográfico extremadamente duro. Después de la primera exposición se intercalaba una **trama negra** (estructura negra sobre soporte transparente) entre la diapositiva y el material sensible, respetando el registro entre ambos. Normalmente se usaba una trama de líneas. Después de la segunda exposición la trama se giraba de determinado ángulo y se hacía la tercera exposición. La segunda y la tercera exposición normalmente se efectuaban con tiempos diferentes.

El negativo resultante estaba hecho de superficies blancas, puntos, líneas y líneas cruzadas. Este se copiaba sobre placas de cincotipia para obtener un cliché tipográfico mediante la acción de los ácidos, como si de un cliché de líneas se tratara.

Autotipia según el primer procedimiento de Meisenbach		Tonos del original				
		I	II	III	IV	
Efecto de las diferentes exposiciones sobre el negativo	A					
	A, B					
	A, B, C					
	A, B, D					
A) Exposición sin trama B) Exposición con trama C) Exposición con trama girada, exposición igual que B D) Exposición con trama girada, exposición superior a B						

Las estructuras del sistema autotípico discreto

La tabla muestra las estructuras que se pueden obtener en el negativo con este primer sistema de Meisenbach, que llamaremos aquí el **sistema discreto**, ya que sólo se obtiene un número natural de tonos aparentes. En nuestro ejemplo partimos de 3 exposiciones, la primera sin trama (A), las otras dos con una trama (B y C, respectivamente B y D) que se ha girado de 90° entre las dos exposiciones. Se distinguen los dos casos en los cuales ambas exposiciones tienen la misma longitud (caso A, B, C) y en los cuales los tiempos de exposición son diferentes (caso A, B, D). En este primer sistema de *Meisenbach* los elementos estructurales (superficies negras, líneas cruzadas, etc.) esquematizados en la tabla se forman de la manera siguiente: Hay que escoger la primera exposición de tal forma que todos los tonos claros hasta un tono determinado (primera zona de la tabla) aparecerán negros en el negativo.

Los tonos de gris inmediatamente siguientes (la zona II de nuestro esquema) son demasiado oscuros para ennegrecer al material sensible con esta primera exposición. Pero conjuntamente con la segunda exposición (la primera que se efectúa a través de la trama) las zonas con estos tonos que además corresponden a las zonas blancas de la trama reciben una cantidad de luz suficiente para ser ennegrecidos más adelante, durante el revelado del negativo. Esto explica la formación de 3 valores tonales aparentes, el negro, el tramado lineal y el blanco, en el caso de sólo dos exposiciones.

El tramado con 3 exposiciones (sin trama, con trama y con trama girada) acepta dos casos: en el primero, la última exposición es de igual duración que la penúltima ($C = B$); en el segundo, la última es más larga que la penúltima ($D > B$). El primer grupo de grises I de la tabla en ambos casos se traducirá por el negro en el negativo.

En ambos casos los tonos de la primera zona de la tabla (zona I) se traducirán por el negro en el negativo. Los tonos de la zona II se traducirán por una estructura de líneas cruzadas, ya que después de la tercera insolación también se van a ennegrecer las áreas correspondientes a las líneas claras en la segunda posición de la trama.

Si la tercera exposición es de la misma duración que la segunda, en la zona III sólo se obtendrá un ennegrecimiento en las áreas del negativo que han sido expuestas ambas veces bajo un área transparente de la trama, en los cruces de las líneas blancas de ambas posiciones de la trama. Dependiendo de la transparencia de la zona IV, esta se traducirá en el negativo como zona blanca o punteada. En el caso de las insolaciones de igual duración obtendremos pues un total de 4 estructuras en el negativo: negro, líneas cruzadas, punteado y blanco.

Se puede obtener una estructura más, y con ella una tonalidad aparente suplementaria, si la tercera insolación D se hace más larga que la segunda. Las primeras dos zonas tonales del original se reproducirán idénticamente que en el caso anterior. En la zona III se van a formar líneas y a la zona IV le corresponderán los puntos, de manera que ahora obtendremos 5 estructuras diferentes y con ellas 5 tonalidades aparentes.

Variando los tiempos de exposición la disposición de las 5 zonas tonales se puede ajustar a favor de las luces o de las sombras. El efecto también depende de la trama negra usada. En principio el primer procedimiento de Meisenbach es un sistema de separación de tonos, ya que se obtienen un número determinado de intensidades tonales (aparentes). Para la obtención de ciertos efectos especiales este sistema todavía se usa esporádicamente, especialmente en el campo de la publicidad.

Meisenbach pronto consiguió superar la limitación a un número determinado de valores tonales y obtenía autotipias que daban la sensación de auténticas reproducciones de medio tono.

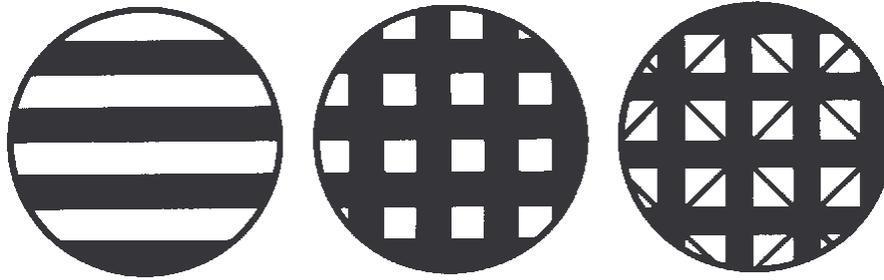
De entrada no importa si la trama negra se pone en contacto con la diapositiva o con el material sensible. La segunda disposición también permite tramar originales opacos usando una cámara. Pronto Meisenbach observó que manteniendo una pequeña distancia entre la trama y la placa sensible (¡lo que era imprescindible usando placas al colodión húmedo!) la expansión de los puntos y de las líneas variaban según la exposición en cada área, de manera que se forma una estructura sin escalones. En cada caso se puede hallar una distancia óptima entre la trama y la placa sensible, la cual depende de la distancia entre el material sensible y el diafragma y de la finura de la trama. Las **tramas de cristal** todavía eran usuales en muchos talleres de fotograbado de la segunda mitad del siglo XX.

Mientras que las primeras tramas de *Meisenbach* eran negativos fotográficos obtenidos a partir de estructuras lineales dibujadas sobre papel, alrededor de 1886 *Ives* y los hermanos *Levy* inventaron un procedimiento para grabar las tramas directamente sobre placas de vidrio. Las placas de vidrio de alta calidad destinadas a la grabación se recubrieron de una delgada capa de un material resistente al ácido. Una máquina grababa las líneas en esta capa. A continuación la placa de vidrio se sometía a la acción del ácido fluorhídrico, una de las pocas sustancias que pueden grabar el cristal. Luego se quitaba la reserva con disolventes. Una vez la placa seca, los surcos se rellenaban con una tinta negra, como si de una calcografía se tratara (ver el capítulo sobre LA CALCOGRAFÍA). Ya que las tramas fabricadas de esta manera eran extremadamente caras, muchos talleres de fotograbado trabajaban con una copia fotográfica de una trama original de *Levy*. Para obtener una autotipia de puntos se hicieron dos exposiciones, girando la trama de 90° (a veces se usaban otros ángulos) entre las dos exposiciones. Si las dos exposiciones tenían el mismo tiempo, no se observaba ninguna tendencia en una dirección determinada. En caso contrario daba puntos más unidos entre sí en una dirección determinada que en la otra. Las versiones f y g de nuestra ilustración de la margarita más abajo demuestran esta diferencia.

Más adelante se solían unir dos tramas de cristal capa contra capa bajo un ángulo de 90°, lo que permitía poder hacer una autotipia con una exposición única. Aproximadamente a partir de 1890 la casa *Levy* producía diferentes tipos de tramas especiales.

La figura reproduce las estructuras de una trama lineal, de una trama de puntos y de una trama especial de *Levy* de la época de 1890.

¿Cómo se explica el hecho de que detrás de una trama de cristal los diferentes tonos de gris se reproduzcan como puntos de tamaño variable?



Estructuras de tramas

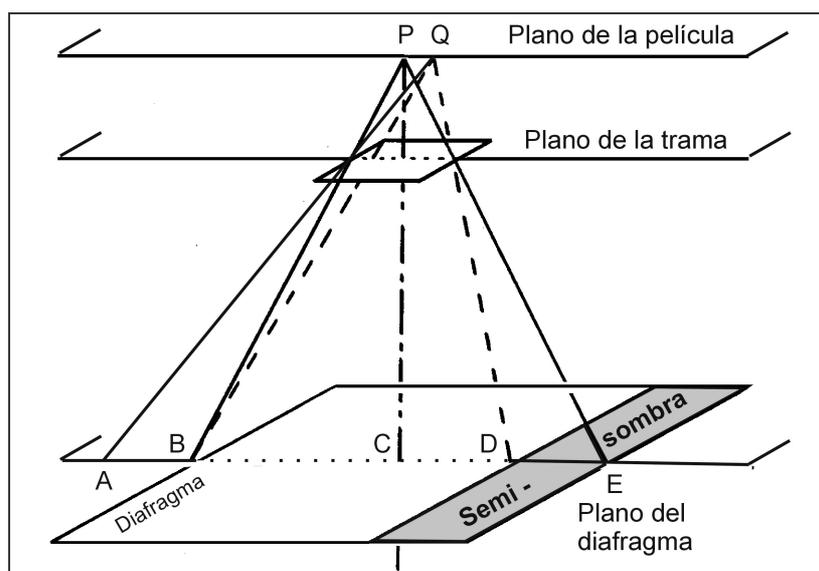
Una condición para ello es que la reproducción se haga sobre material ultra duro que no produzca tonos de gris, sino exclusivamente blancos y negros. El límite entre el blanco y el negro está determinado por la exposición y el revelado. Podemos observar, que sobre el material fotográfico detrás de cada abertura (o ventanita) de la trama, el punto luminoso consiste en zonas de iluminación variable, de manera que la intensidad de luz disminuye desde el centro hacía afuera.

Hay sobre todo dos efectos superpuestos que determinan la distribución de la luz detrás de una ventanita de la trama: el primer efecto tiene una explicación puramente geométrica (se habla de la **teoría de la semi-sombra**) que está representada esquemáticamente en la figura con el título 'Teoría de la semi-sombra'. El segundo efecto es físico y es una consecuencia de la difracción de la luz. Con las tramas bastas (pocas líneas por cm o por pulgada) el efecto de la difracción es relativamente pequeño, ver inapreciable, mientras que va ganando en importancia a medida que las lineaturas de las tramas aumentan. Otros efectos, como la reflexión de la luz en la superficie del material sensible o la difusión dentro de la emulsión evidentemente también tienen su influencia sobre la formación del punto de trama.

La ilustración 'Teoría de la semi-sombra' representa esquemáticamente la situación del diafragma, de la trama y del material sensible. Este dibujo es muy esquemático y entre otras cosas no tiene en cuenta el sistema óptico del objetivo. El dibujo se basa en una cámara oscura con un orificio cuadrado como objetivo, cuyos lados son paralelos a las líneas de la trama. El diafragma ha sido escogido de tal forma que el cociente del lado de la abertura cuadrada del diafragma y del lado de la ventanita de la trama es igual al cociente de la distancia entre la superficie del material sensible y la superficie del diafragma y la distancia entre la

superficie del material sensible y la superficie de la trama (teorema de *Thales*).

Contemplamos una intersección con un plano α que contiene el eje óptico y que es paralela a uno de los lados cuadrados. De arriba a abajo las tres rectas paralelas del esquema corresponden a las intersecciones de este plano con la superficie del material sensible, con el plano de la trama y el plano del diafragma. Las medidas de esta figura son muy exageradas para poder representar gráficamente la situación, pero las proporciones se respetan.



Teoría de la semi-sombra

Supongamos que el original que se trata de reproducir sea una hoja de papel blanco. Con la distancia de la trama escogida en nuestro ejemplo y sin tener en cuenta la difracción (que sólo se manifiesta en el caso de tramas muy finas) el punto central P obtiene luz de toda la superficie del diafragma. Un punto Q que se halla sobre la intersección de la superficie de la película con el plano α ya sólo obtiene luz de un rectángulo residual del cuadrado del diafragma, con un lado \overline{BD} . Esto demuestra que un punto Q recibe menos luz cuando más se aleja del centro P.

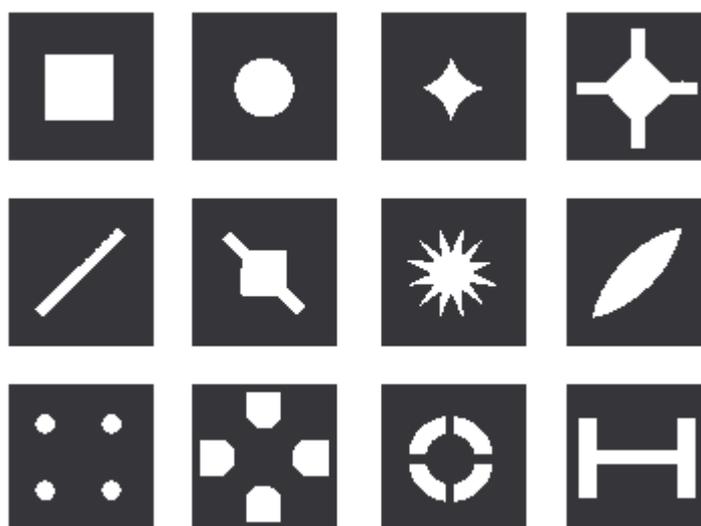
Si revelamos el trozo de película representado en nuestro esquema, el punto P se volverá negro. A partir de una cierta distancia de P los puntos de la superficie del material sensible ya no habrán obtenido la luz suficiente para ennegrecerse. El resultado será un punto negro aproximadamente cuadrado en un campo transparente.

Si la intensidad de la luz hubiera sido mayor, la distancia crítica de P hubiera aumentado, de manera que hubiéramos obtenido un punto de mayor tamaño. Y en el caso de una exposición menor, el punto habría disminuido, hasta desaparecer por completo. Queda pues claro que con

esta disposición se pueden obtener puntos de extensión variable según la cantidad de luz reflejada por el original.

Si ahora ponemos un original de medios tonos en el lugar del papel blanco, a cada punto de trama le corresponde una pequeña zona del original que desprende una cantidad determinada de luz. Esta cantidad es la que determina el tamaño del futuro punto de trama de la reproducción.

La forma de los puntos de trama depende de la estructura de la trama de cristal (líneas, líneas cruzadas, grano,...) y de la forma del diafragma. Para conseguir efectos especiales o para modificar la distribución tonal de la reproducción se pueden usar diafragmas con diferentes formas. Una muestra de posibles formas se reproduce en la figura 'Formas especiales del diafragma'. En todos los casos la formación del punto se explica de la misma manera que en nuestro ejemplo didáctico (diafragma cuadrado con los lados paralelos a la lineatura), pero las contemplaciones matemáticas serían mucho más complicadas que en aquel caso especial.



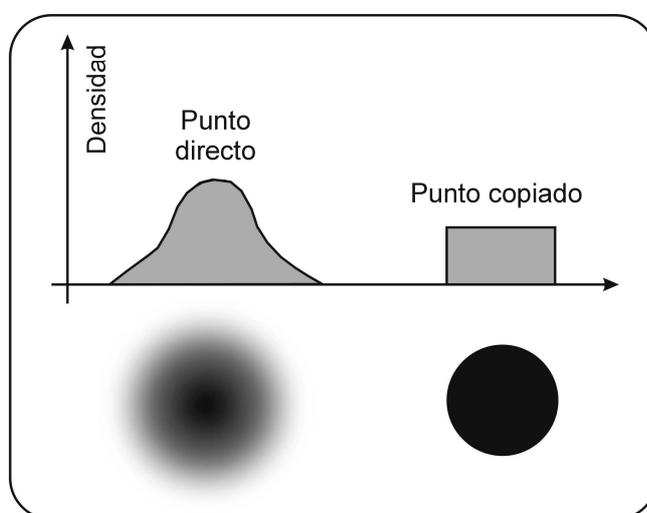
Formas especiales del diafragma

Durante la elaboración de una autotipia con trama de cristal la distribución tonal se puede manipular mediante el uso de diferentes exposiciones con diferentes diafragmas. Además el contraste (aquí el contraste es la máxima diferencia porcentual entre el tamaño de los puntos) puede ser reducido con una exposición **flash**. Esta se suele realizar substituyendo el original por un papel blanco, usando un diafragma¹ bastante pequeño). Si conviene que las luces más brillantes no contengan puntos de trama, se suele utilizar una exposición auxiliar conocida como **bump** que se puede

¹ Recordamos que los diafragmas pequeños tienen las características (cociente entre la distancia focal y el diámetro) grandes.

realizar con un diafragma muy abierto o substituyendo la trama de cristal por un cristal transparente del mismo espesor (para evitar diferencias de enfoque).

Para poder evitar esta substitución de la trama por una placa de cristal se ha creado la **trama azul**, cuyas líneas consisten en un colorante azul transparente. Trabajando con la trama azul se tenía que usar material ortocromático, y sólo los originales blanco y negro se dejaban reproducir satisfactoriamente. La exposición principal y la de flash se efectuaban mediante un filtro amarillo, mientras que para la exposición **bump** este se substituía por otro de color azul, que deja la lineatura de la trama prácticamente invisible.



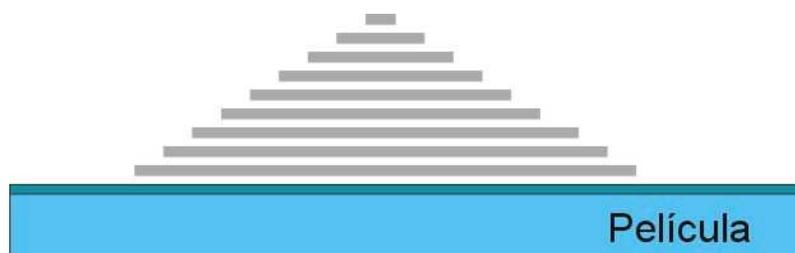
Densidades de los puntos de trama

Ya que no puede existir ningún material fotográfico con una curva característica perfectamente vertical, siempre habrá una franja de tonos que quedarán reproducidos como tonos grises. Esto explica el hecho de que los puntos obtenidos con una trama de cristal siempre están rodeados por un halo gris. Si se efectúan mediciones con un micro-densitómetro en los puntos de una línea recta que atraviesa el centro de un punto de trama, se obtiene una curva continua con la densidad máxima en el centro. Los puntos que se caracterizan por un recorrido relativamente suave de esta curva se suelen designar como **puntos blandos**. Una imagen tramada hecha con puntos blandos se suele llamar una imagen tramada de primer orden. Una imagen tramada de segundo orden, como la copia por contacto de una imagen de primer orden sobre material ultraduro tiene puntos con márgenes duros, prácticamente sin halo, con una curva de densidad casi vertical. La figura 'Densidades de los puntos de trama' representa gráficamente la diferencia entre puntos de primer orden y de

segundo orden. Se puede decir que una imagen tramada de primer orden aproxima la micro-estructura de una imagen de medio tono (con densidades extremadamente altas), mientras que una imagen tramada de segundo orden tiene la micro-estructura de una imagen de línea.

Sobre todo cuando tiene puntos muy suaves, la fotografía tramada de primer orden tiene dos ventajas en el campo de la corrección tonal. Primero los puntos pueden tratarse con un rebajador químico, lo que reduce el tamaño de los puntos. Por otra parte, en el momento de la copia, el tamaño de los puntos se puede influenciar hasta cierto grado por el tiempo de exposición.

Aproximadamente a partir de 1940 en el mercado empezó a aparecer un nuevo tipo de trama, la **trama de contacto**, que gradualmente iba sustituyendo la trama de cristal y que hacía finales de los años 1970 se iba haciendo imprescindible en los talleres de fotograbado. Una trama de contacto es una película fotográfica, sobre la que se ha creado una estructura de puntos de densidad variable (puntos de densidad continua) mediante una técnica fotográfica. Hay que tener en cuenta las diferencias principales entre una trama de contacto y una trama negra o una trama autoadhesiva de las que usan los grafistas para estructurar ciertas zonas de sus ilustraciones. Las tramas duras se componen de campos negros y blancos, mientras que una trama de contacto se compone de puntos con densidades que aumentan gradualmente hasta los centros de los puntos. El hecho de estructurar dibujos o planos mediante tramas negras a veces se llama el **proceso Ben-Day**, en honor a Benjamin Day, un fabricante de tramas que permitían calcar estructuras sobre las piedras litográficas. Las tramas de Day eran relieves de gelatina que se podían entintar con un rodillo con tinta litográfica para luego calcar sus estructuras directamente sobre la superficie de la piedra previamente limitada por las reservas adecuadas. De hecho era una técnica tipográfica usada en la elaboración de una forma planográfica. Esta técnica se usaba mucho en la confección de cromolitografías.



Formación del punto bajo una trama de contacto

Como su nombre sugiere, la trama de contacto se aplica directamente sobre la película sensible, sin ninguna distancia. Durante la exposición los

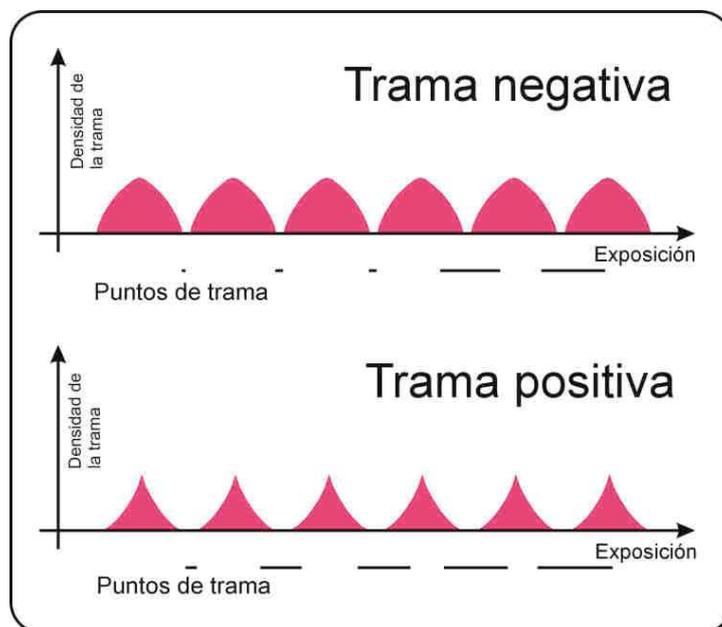
centros entre los puntos dejan pasar la máxima cantidad de luz y los centros de los puntos la mínima. Para entender el funcionamiento de este tipo de trama usaremos un modelo sencillo. Superponemos una serie de discos con diámetro decreciente (torre de Hanoi) de una película de medio tono con densidad constante. Ahora exponemos una película ultra dura (tipo lith) a través de este paquete. Si hay poca luz, sólo la zona de la película no recubierta por el paquete de discos llegará a ennegrecerse durante el revelado y el resultado será un disco blanco en un campo negro. Con un poco más de luz, la zona bajo el disco exterior también se ennegrecerá, con lo que obtendremos un disco blanco más pequeño que en el primer experimento. Aumentando la intensidad de la luz lograremos ennegrecer las zonas situadas bajo 2, 3,... todos los discos del paquete, con lo que obtendremos puntos cada vez más pequeños en nuestra película, hasta la total desaparición del punto.

La curva que dibuja el tono tramado (expresado en porcentajes de negro de una zona determinada) en función de la exposición (o del logaritmo decimal de la exposición) se corresponde análogamente a la curva característica de un material de medio tono. Esta curva depende esencialmente de la distribución de densidades dentro de los puntos de la trama de contacto. En algunas tramas el punto crece primero de prisa y luego lentamente (se habla de una trama positiva) y en otras pasa el contrario (trama negativa). En el primer caso, tramando un original positivo se obtiene más contraste en las sombras que en las luces. Usando una trama negativa son las luces que quedan más contrastadas. Las dos distribuciones tonales se esquematizan en la figura 'Trama positiva, trama negativa'.

En este esquema se representa el crecimiento del punto en función de la luz bajo ambos tipos de trama. Las características 'positivo' y 'negativo' no implican que en un caso se obtiene un positivo y en el otro un negativo. La calificación está derivada del hecho de que generalmente la trama negativa es más apropiada para hacer negativos tramados a partir de originales positivos y viceversa. Pero esta regla admite excepciones. Aparte de las dos distribuciones típicas se pueden fabricar tramas de contacto con distribuciones totalmente diferentes.

La elaboración de una autotipia con una trama de contacto puede exigir hasta tres exposiciones diferentes. Además de la exposición principal muchas veces se usa una exposición **flash**, una exposición en la que se ha sustituido el original por un papel blanco, para obtener un punto mínimo en las sombras. Con la exposición flash se reduce el contraste excesivo de la reproducción. La tercera exposición, **bump**, permite cerrar los puntos de las luces hasta su desaparición, lo que vuelve a aumentar el contraste, esta vez a favor de las luces. Jugando con las tres exposiciones

se puede manipular la curva característica de la reproducción tramada hasta cierto grado sin cambiar la trama.



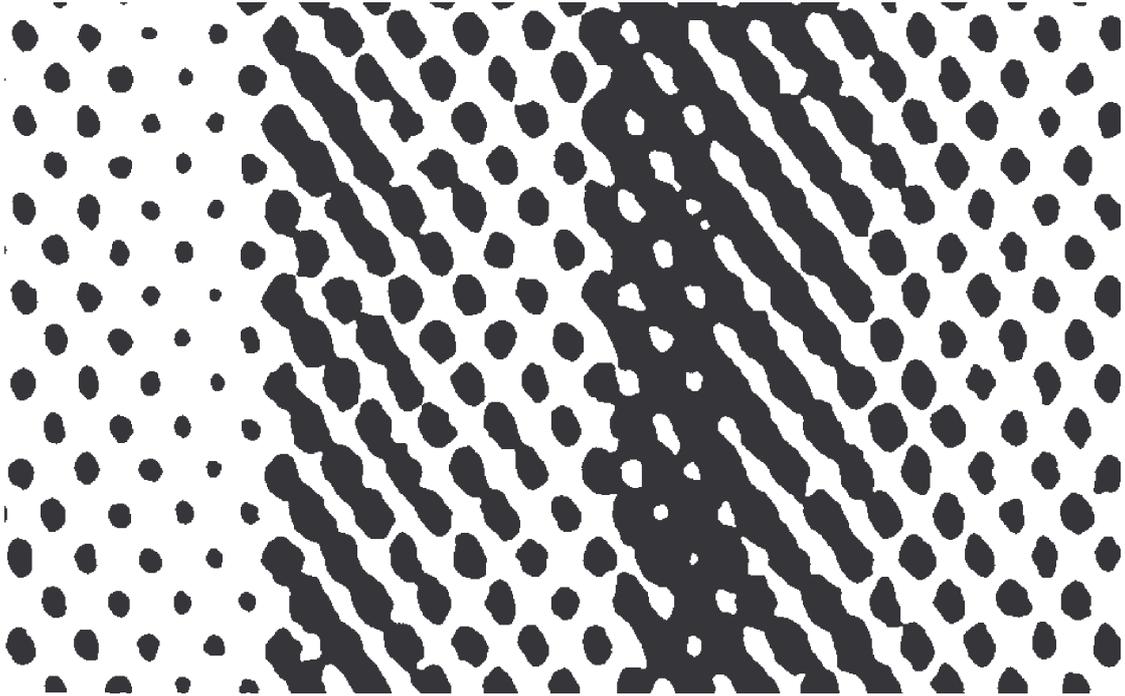
Trama positiva, trama negativa

Las tramas de contacto se fabricaban en gris (imagen fotográfica de plata) y en color (virado, sustitución de la imagen de plata por un colorante). El color usado casi exclusivamente era el magenta, la mezcla aditiva de azul y de rojo. La trama magenta no da reproducciones satisfactorias de originales de color, pero tiene una ventaja sobre la trama gris: el contraste se puede variar mediante filtros de color (o iluminando el original con luz de color). Si exponemos material ortocromático a través de una trama magenta y un filtro amarillo, la estructura de la trama se intensifica y el contraste de la reproducción disminuye. Lo contrario pasa si sustituimos el filtro amarillo por un filtro azul. Se pueden obtener resultados intermedios haciendo dos exposiciones, una con filtro, otra sin él, o con una exposición a través de un filtro del color adecuado.

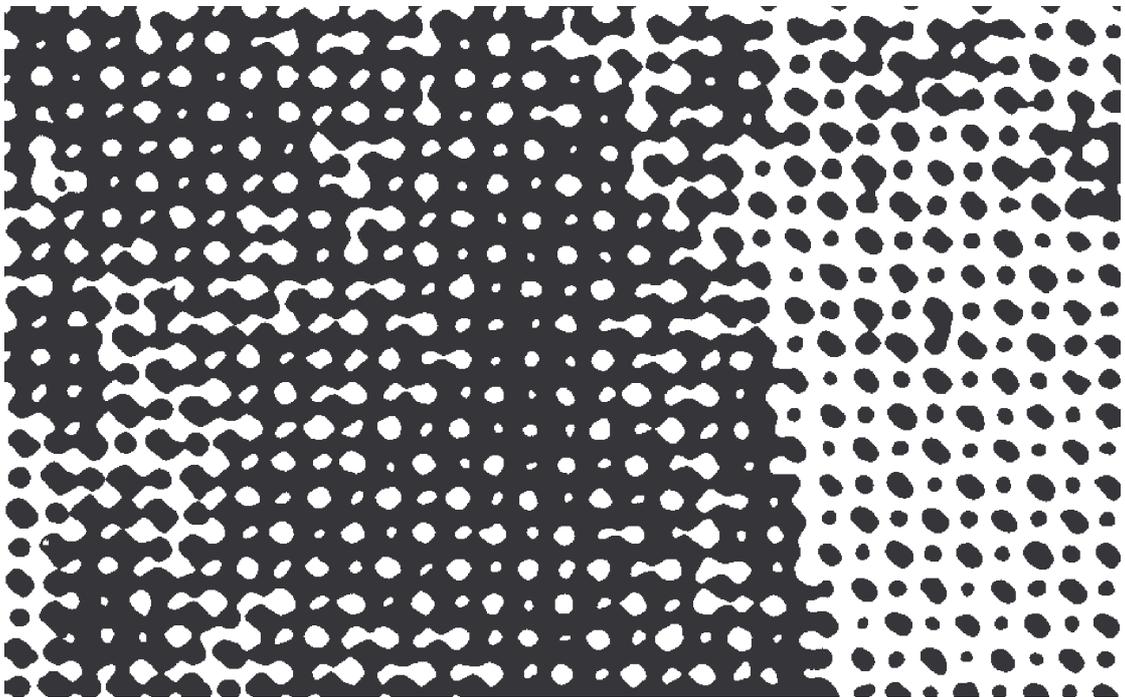
La micro estructura de una autotipia puede mostrar formas muy diferentes, según el tipo de trama (trama de cristal o de contacto), según la forma del diafragma en el caso de la trama de cristal, y según la estructura de la trama en ambos casos. Las tramas de contacto se ofrecían con diferentes tipos de puntos (redondo, cuadrado, elíptico), como trama de líneas, de grano, y también con diferentes estructuras de fantasía, pensadas para finalidades publicitarias. La empresa *PAWO* fabricaba una trama especial con conjuntos de 3 puntos.

La figura 'Estructuras tramadas' reproduce unas muestras ampliadas de diferentes tramas:

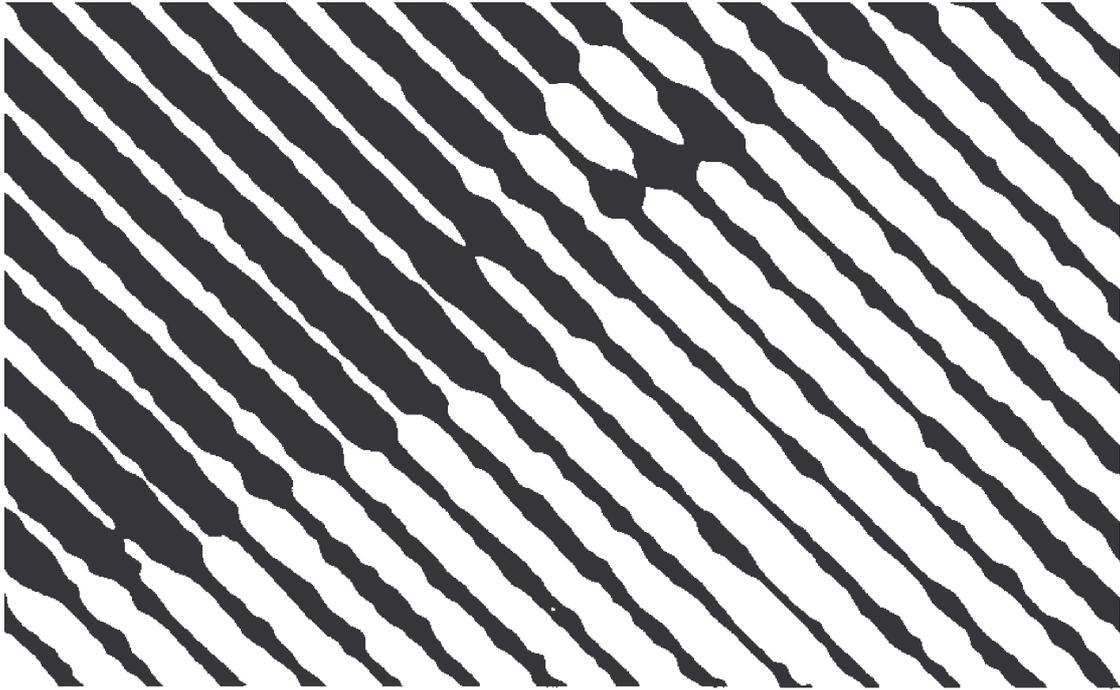
- a) Estructura de una trama de una autotipia de *Meisenbach* alrededor de 1885.
- b) Estructura de una trama especial comercializada por *Levy* alrededor de 1895.
- c) Trama de línea.
- d) Trama de grano.
- e) Trama de punto con punto redondo.
- f) Trama de punto con punto cuadrado.
- g) Trama 'Triplet' de la empresa *PAWO*.
- h) Trama de punto con punto elíptico.



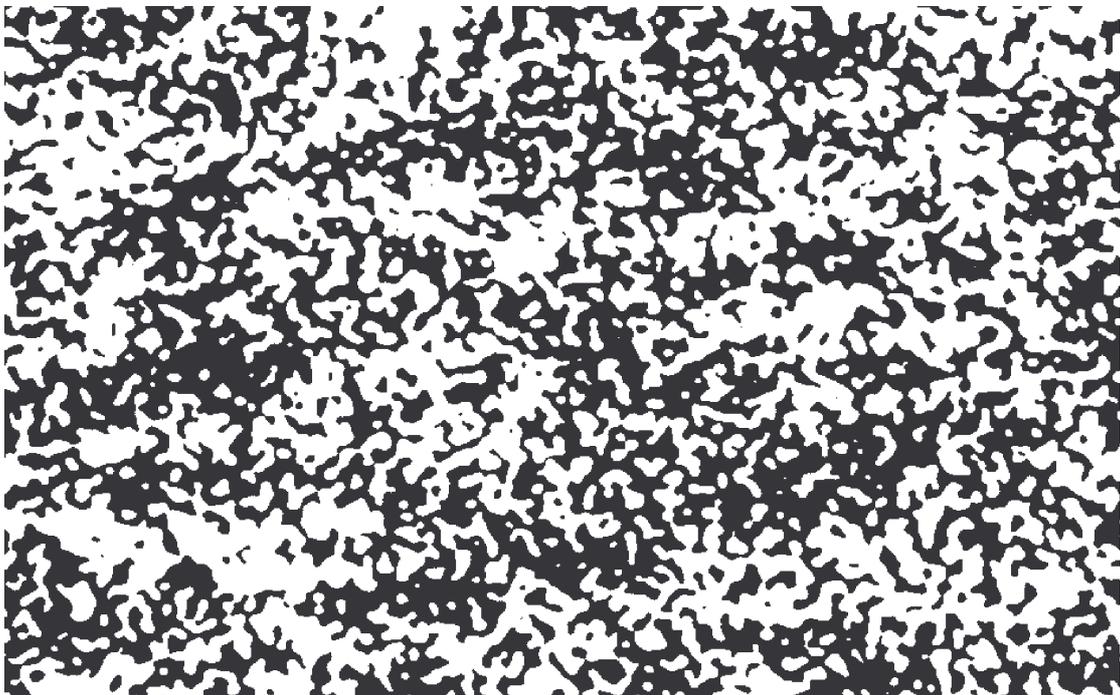
Estructuras tramadas (a)



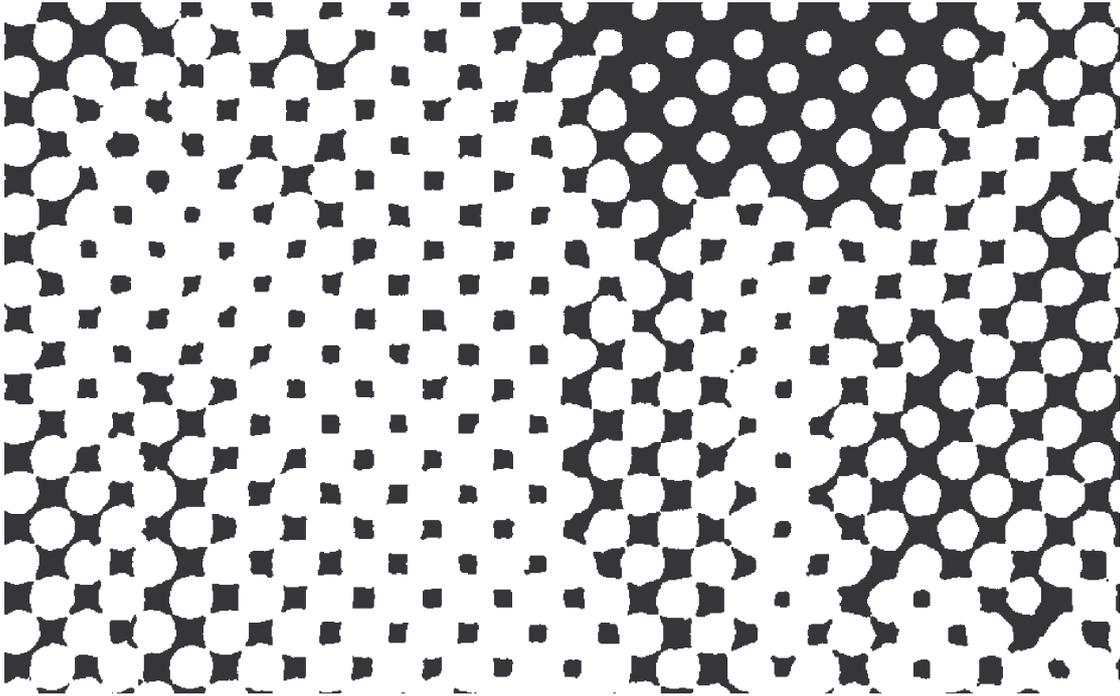
Estructuras tramadas (b)



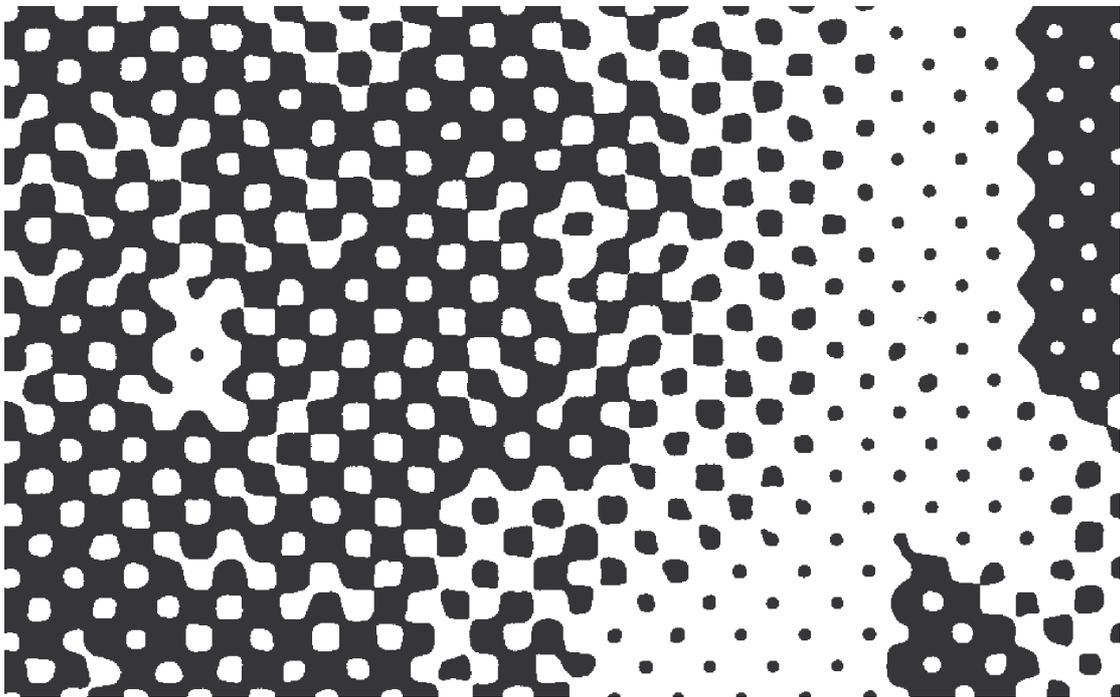
Estructuras tramadas (c)



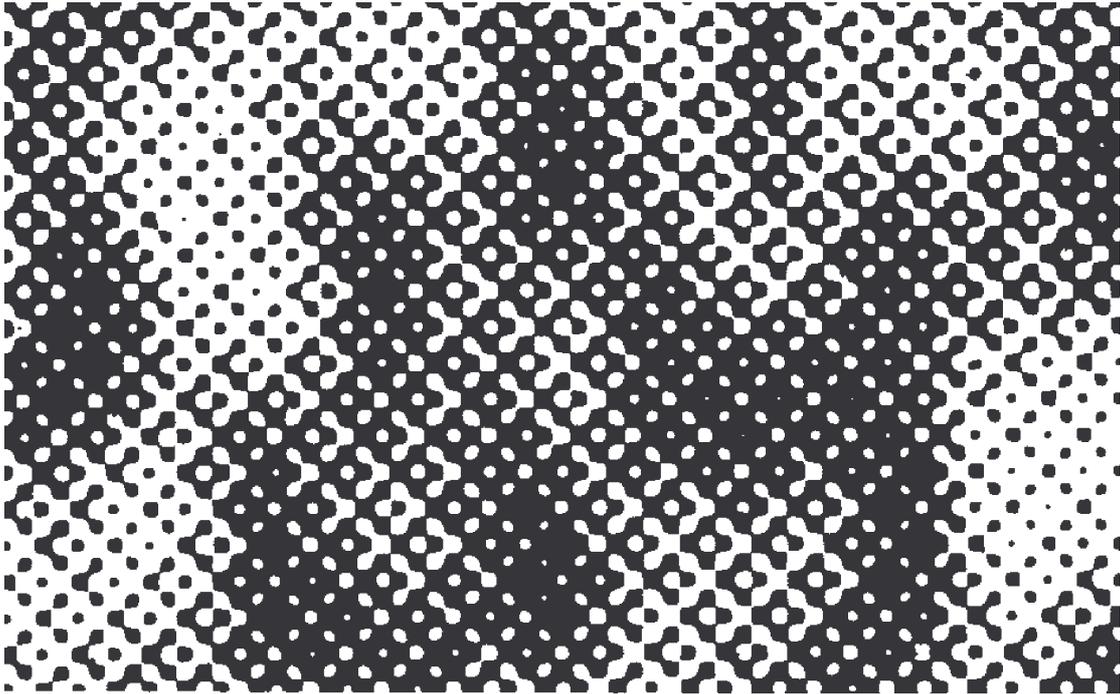
Estructuras tramadas (d)



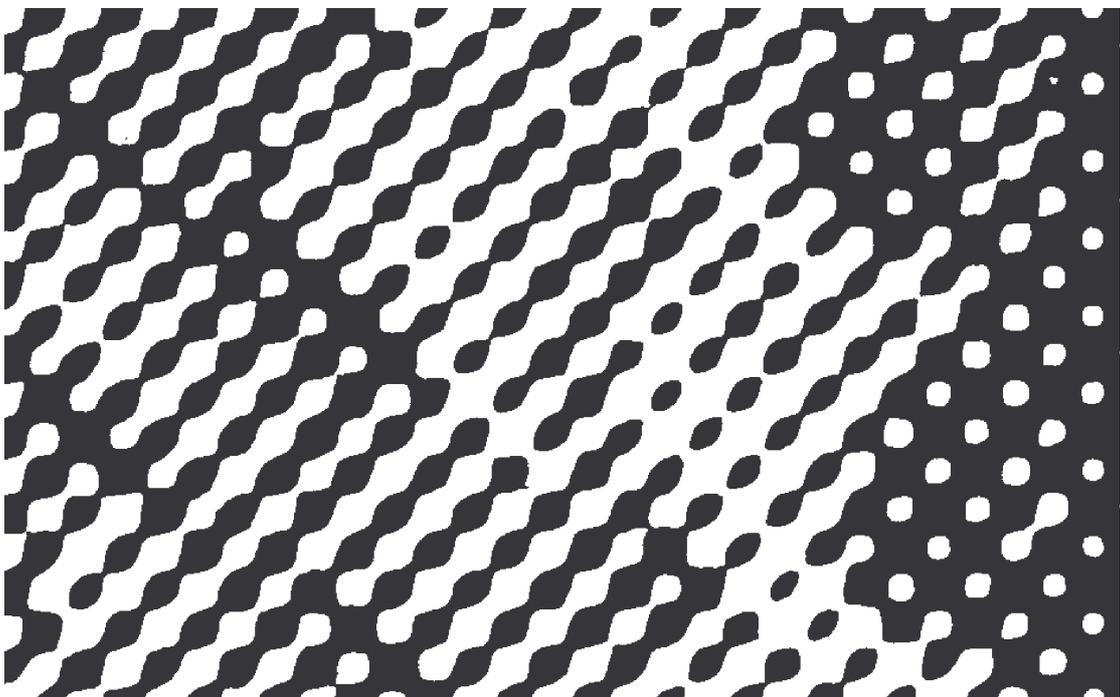
Estructuras tramadas (e)



Estructuras tramadas (f)



Estructuras tramadas (g)



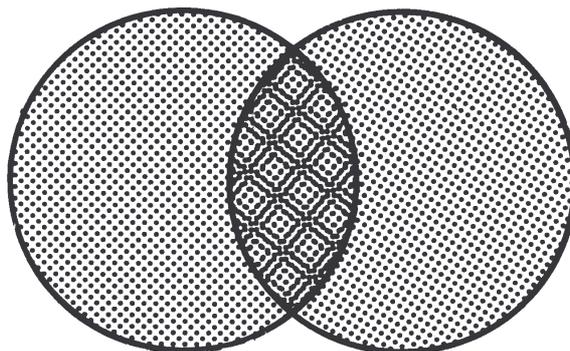
Estructuras tramadas (h)

Llamamos **lineatura** al número de líneas por cm (o por pulgada) de una trama de líneas o de puntos. Los sistemas de impresión y sobre todo el tipo de papel ponen límites a la finura de la trama. Las tramas más bastas como las usadas en la impresión de periódicos suelen tener lineaturas entre 20 y 34 líneas por cm (lin/cm). Para trabajos de calidad normal se usan tramas de entre 40 y 60 lin/cm. Para trabajos muy finos sobre papeles couché de primera calidad también se usan tramas más finas cuya lineatura puede llegar hasta 120 lin/cm en casos extremos. Hay que tener en cuenta que el número de puntos por cm^2 crece con el cuadrado de la lineatura. Así que una trama de 48 tiene 2304 puntos por cm^2 mientras que una trama de 24 sólo tiene 576. También hay que tener en cuenta que bajo las mismas condiciones de impresión las tramas bastas permiten imprimir una gama de grises aparentes más extensa que las tramas finas, como demuestra el siguiente ejemplo numérico: Si por ejemplo el punto mínimo de una trama de 48 que todavía se puede imprimir sobre un papel determinado corresponde a un valor de 10 % de trama, y análogamente el punto máximo corresponde a un 80 %, la superficie negra del punto mínimo de la trama de 48 corresponde a un valor de trama de 2,5 % para una trama de 24. Análogamente la superficie blanca de la trama de 48 que corresponde a un 20 % se reduce a un 5 % si cambiamos la trama de 48 por la de 24. Así que el cambio de la trama de 48 por la de 24 ha aumentado el contraste tramado de un 70 % (10 % a 80 %) a un 92,5 % (2,5 % a 95 %).

La sobreimpresión de dos o más imágenes tramadas puede provocar interferencias conocidas como moiré. El moiré es comparable con el efecto que podemos observar cuando contemplamos una barandilla a través de otra. Para reducir el moiré de las tramas de punto al mínimo cuando se trata de sobreimprimir varias tintas, hay que respetar ciertos ángulos entre las diferentes tramas. Algo parecido pasa también cuando se trata de retramar un original que ya presenta una tramada. Para la cuatricromía antes se usaban juegos de 4 tramas o también tramas redondas. Una manera muy popular de angular los 4 colores es la siguiente:

Cyan	15°
Negro	45°
Magenta	75°
Amarillo	90°

La figura 'Moiré' muestra el efecto moiré que se forma superponiendo dos campos tramados bajo un ángulo cerrado.



Moiré

Las 8 partes de la ilustración 'Margaritas' son reproducciones en diferentes técnicas fotomecánicas desde un negativo de tono continuo.

- a) Imagen tramada 'normal'.
- b) Foto de línea (foto quemada) sobre material de tipo 'Lith' (una sola exposición, sin trama).
- c) Dos exposiciones:
 - Una exposición sin trama.
 - Una exposición a través de una trama negra de líneas (líneas negras sobre fondo transparente, no trama de contacto) sin distancia del material fotográfico.
- d) Tres exposiciones:
 - Una exposición sin trama.
 - Una exposición a través de una trama negra de líneas.
 - Una segunda exposición a través la trama de líneas girada de 90° (con el mismo tiempo que en la segunda exposición).
- e) Lo mismo que en el caso d), pero con la tercera exposición más larga que la segunda.
- f) Una exposición a través una trama de contacto lineal.
- g) Dos exposiciones de igual tiempo a través de una trama de contacto lineal girada de 90° entre ambas exposiciones.
- h) Dos exposiciones con tiempos diferentes a través de una trama de contacto lineal girada de 90° entre ambas exposiciones.

En las partes b), c), d) y e) de la figura 'Margaritas' encontramos las estructuras representadas esquemáticamente en la figura 'Las estructuras del sistema autotípico discreto'.

Las tramas propias del rotograbado con profundidad variable se discutirán en el capítulo dedicado a la calcografía.