

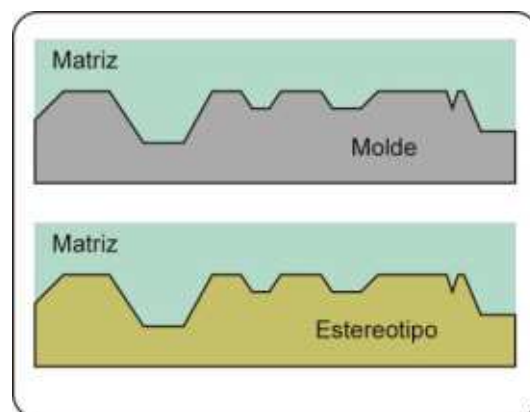
registro perfecto al impresor experimentado. A veces las xilografías japonesas se acaban con un impreso en seco.

Estereotipia y galvanotipia

Hay dos sistemas clásicos para obtener un duplicado a partir de una forma tipográfica sin tener que imprimir una prueba de la placa original: la estereotipia y la galvanotipia (galvanoplastia aplicada a la tipografía). El último sistema da resultados de mayor calidad, pero es más exigente técnicamente.

Había imprentas que hacían un estereotipo de todos sus moldes para poder disponer en seguida del material de composición. Las placas estereotípicas (llamadas brevemente estéreos) ocupan menos espacio que los moldes de plomo y además tienen la ventaja de poderse emplear en los cilindros de las máquinas rotativas. A veces es deseable poder imprimir varios ejemplares de una vez de un mismo molde. Sobre todo si el original es una xilografía valiosa que se podría ir desgastando durante la impresión, es interesante hacer de ella un estéreo o un gálvano.

El principio de cualquier sistema estereotípico es el siguiente: se hace una matriz de un molde tipográfico y se la separa de la forma original. Luego se rellena la matriz de aleación tipográfica o de una materia plástica. Con una sola matriz se pueden obtener varios estéreos. En caso de desear un estereotipo curvado para su uso en una prensa rotativa, hay que curvar la matriz antes de la fundición del estéreo. Las matrices todavía en uso al final del siglo XX consistían en un papel especial que se amoldaba a la forma bajo alta presión o eran de plástico.

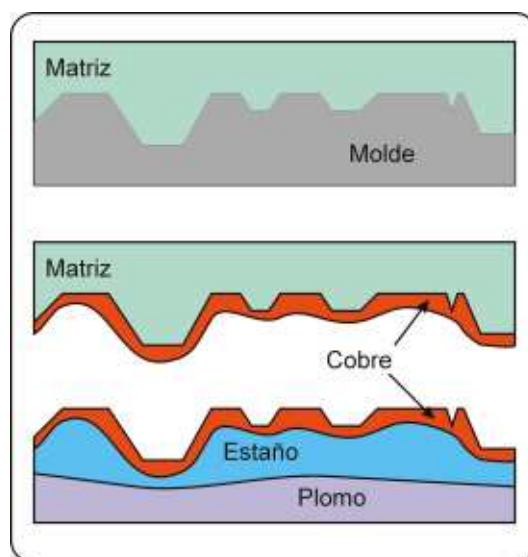


Hacia 1729 el joyero de Edingburg *William Ged* hizo el primer estereotipo de yeso. El nombre 'estereotipia' se debe al impresor francés *Firmin Didot*, que perfeccionó el sistema de *Ged* alrededor de 1739. La

matriz de papel es un invento del francés *Claude Genoux*, alrededor de 1829.

Hay diferentes procedimientos para confeccionar un gálvano. La galvanotipia es una aplicación especial de la galvanoplastia. Hay que mencionar que también las planchas calcográficas (de las que se hablará en el capítulo dedicado a la calcografía) se pueden reproducir galvánicamente. Aquí describiremos brevemente la técnica galvanotípica más antigua conocida.

Una placa hecha de una mezcla de polvo de grafito y de cera se prensa contra la superficie del molde que se trata de reproducir, de manera que la cera se convierta en una matriz complementaria como en el caso de la estereotipia. Se recomienda empolvar previamente el molde con grafito. El relieve se separa cuidadosamente de la forma original, se le empolva con grafito y se cuelga en un baño electrolítico compuesto esencialmente de una solución de sulfato de cobre con alguna gota de ácido sulfúrico. La cera, gracias al grafito que lleva, se ha convertido en un conductor eléctrico. El grafito es una de las dos modificaciones del carbono; la otra es el diamante.



El ánodo del baño electrolítico está formado por una barra de cobre, mientras que la placa de cera se usa como cátodo. Después de conectar la corriente continua el cobre del ánodo empieza a depositarse sobre la placa de cera, hasta que obtenemos una capa de un grosor suficiente para que la capa de cobre no se dañe durante las siguientes manipulaciones. Llegado este momento se interrumpe la corriente y se saca la placa de cera de su baño. Mediante agua caliente se funde la cera hasta que sólo quede el relieve de cobre. En el lado que no va a imprimir recubrimos la superficie de cobre con una capa de estaño sobre la que finalmente vertemos plomo líquido hasta obtener la altura tipográfica.

Hay sistemas más modernos en los que la placa de cera se substituye por una placa de plomo que se aprieta sobre el molde original mediante una prensa hidráulica. El cobre a veces se sustituye por níquel, un metal que aguanta tiradas más largas y que no reacciona químicamente con ciertas tintas como hace el cobre.

Cincotipia (cliché de cinc)

Bajo el nombre de cincotipia reuniremos aquí todos los procedimientos que permiten obtener un relieve adecuado para la tipografía mordiendo con ácido una placa de cinc recubierta de un dibujo (de línea o tramado) con tinta de reserva especial. Si la plancha usada es de aluminio, cobre u otro metal, se podría nombrar la técnica correspondiente como alutipia, cuprotipia o metalotipia, lo que no es usual. Popularmente se llaman clichés las planchas tipográficas obtenidas por medios cincotípicos.

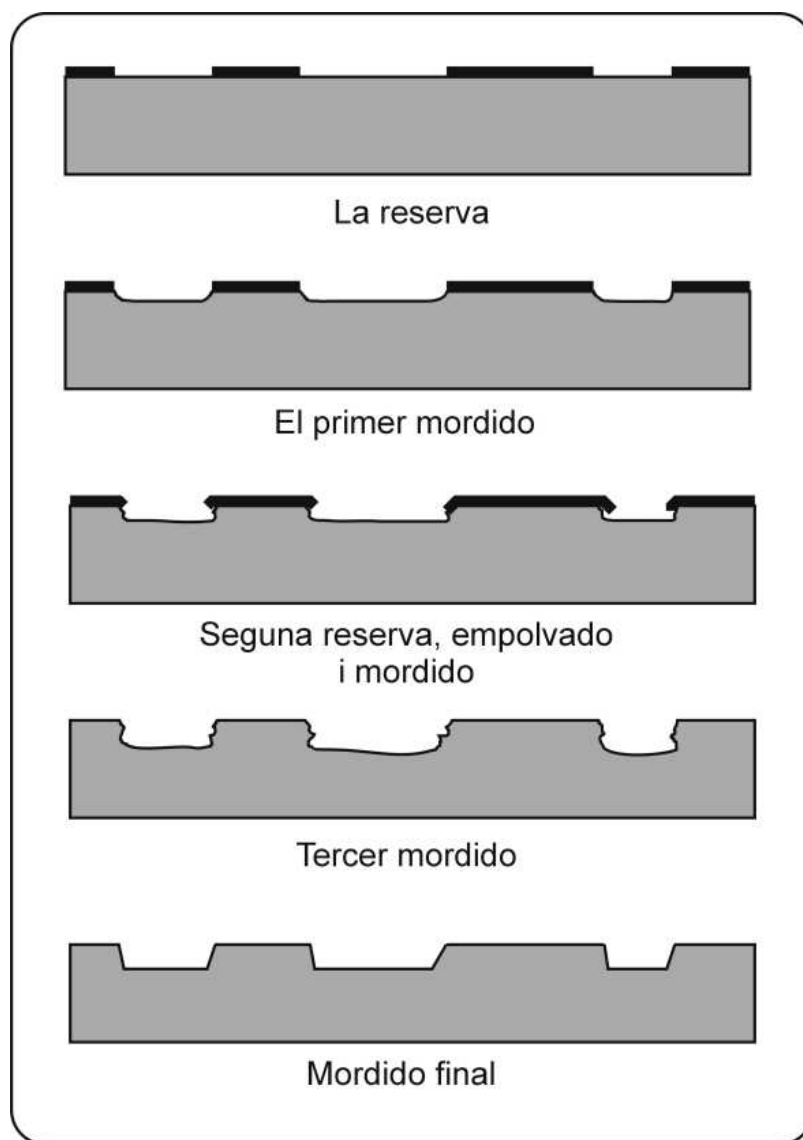
Estos procedimientos suelen basarse en una plancha metálica pulida como un espejo, sobre la que se aplica el dibujo con una tinta especial grasa a prueba de ácidos. Las zonas recubiertas de esta reserva corresponden a las zonas que más adelante van a retener la tinta en la prensa para aplicarla sobre el papel. Son las únicas zonas que van a mantener su nivel en el curso del proceso de mordido, mientras que las otras zonas se rebajarán más o menos, según sea necesario.

¿Cómo se aplica la reserva sobre la plancha? Se la puede aplicar manualmente, mecánicamente o por medios fotomecánicos. El sistema manual consiste en dibujar directamente sobre la plancha. Los sistemas mecánicos suelen estar basados en la transferencia litográfica que puede tener la forma de autografía, de impresión anastática o de transferencia a partir de una piedra. Estas técnicas se explicarán en el capítulo dedicado a la litografía.

La impresión anastática permite transferir impresos obtenidos por todas aquellas técnicas que imprimen una densidad constante de tinta, como en el caso de la litografía y de la tipografía. La impresión anastática se practicó en el siglo XIX. La impresión anastática a partir de originales impresos por medios calcográficos o fototípicos sólo da resultados satisfactorios en contadas ocasiones.

Finalmente se llaman fotomecánicos los sistemas de transferencia de la tinta de reserva sobre la plancha, cuando en el curso del procedimiento interviene una reacción fotoquímica, sea una alteración de productos químicos por la luz.

Ya que hasta el momento de la transferencia sobre la plancha los procedimientos son prácticamente idénticos con los respectivos procedimientos litográficos, nos limitaremos a describir esta parte en el capítulo de la litografía. Una vez depositada la reserva sobre la plancha, hay diferentes sistemas para realizar el mordido. En el siglo XIX los experimentos en este campo eran numerosos.



Elaboración de un cliché de cinc

Uno de los primeros procedimientos industriales importantes era el introducido por *Firmin Gillot* alrededor de 1850 con el nombre de *Paniconografía*. Más adelante se popularizaron las designaciones **Gillotage** y **Gillotipia**. Ya que el procedimiento evolucionó y tampoco se practicó de la misma manera en los diferentes talleres, en distintas fuentes hallamos diferentes descripciones del procedimiento, todos ellos basados en la misma idea, el mordido por etapas.

El procedimiento de *Gillot* partía de una transferencia litográfica sobre una placa de cinc pulida. Primero se entinta la plancha como si de una plancha litográfica se tratara. La tinta todavía húmeda se empolva con resina de colofonia finísima. Luego se lava con agua para eliminar el polvo de colofonia que ha quedado en las zonas blancas de la plancha. Se calienta la plancha hasta que la colofonia se vuelva líquida y se funde con las zonas recubiertas de tinta, lo que forma una reserva muy resistente a los ácidos.

Una vez recubiertos los márgenes y el dorso de la plancha con barniz de asfalto o con una solución alcohólica de goma laca, se somete la plancha a un ligero mordido con ácido nítrico de un 3 %. No se puede obtener toda la profundidad en una sola vez, ya que las paredes quedarían atacadas lateralmente.

Después de este primera mordido la plancha se enjuaga, se engoma como si de una plancha litográfica se tratara (ver el capítulo sobre la litografía) y se entinta con un rodillo blando, de tal manera que la tinta también recubre la parte superior de las paredes laterales. Una vez seca la solución de goma se vuelve empolvar la plancha con colofonia que queda adherida a la tinta todavía fresca. Luego se elimina el polvo de colofonia sobrante y se calienta la plancha hasta que se funda la colofonia. Ahora se puede proceder al segundo mordido.

Después de cada mordido las zonas que ya están suficientemente hondas (dónde hay poca distancia entre las zonas destinadas a imprimir) se protegen con barniz asfáltico o con goma laca. Las plancha tipográficas tienen que presentar una profundidad suficiente, generalmente superior a las planchas de calcografía. A pesar del hecho de que la profundidad del mordido no influye sobre el resultado final, una profundidad insuficiente puede generar problemas de entintado, ya que los rodillos son flexibles y tienden a depositar tinta también en los fondos de las planchas, especialmente en zonas de blanco extensas. Y esto puede ensuciar el papel, ya que tampoco se mantiene perfectamente plano durante la impresión. Por todo ello hay que morder más profundamente las zonas blancas extensas que las otras.

Después del último mordido de profundidad, se procede a un mordido de limpieza que tiene por fin eliminar las escaleras que han dejado los sucesivos mordidos en las paredes. Para ello se eliminan todos los restos de tinta y de colofonia de la plancha con agua y disolventes adecuados. La plancha seca se entinta con un rodillo duro (que no penetra en las profundidades) sin recubrir las paredes laterales. En este último mordido desaparecen los escalones laterales.

Nuestro esquema representa las fases principales en la elaboración de una cincotipia según el sistema de *Gillot*. Las máquinas grabadoras

introducidas a principios del siglo XX trabajan con ácido proyectado verticalmente contra la superficie de la plancha. Ya que de esta manera el ácido muerde esencialmente en dirección de su proyección, el mordido por etapas queda prácticamente obsoleto.

Con el tiempo se inventaron un gran número de sistemas fotomecánicos para aplicar la reserva. Se trataba de aplicar una capa a prueba de ácidos que se dejaba disolver según si había sido expuesta a la luz o no. Dos clásicos son el asfalto y la albúmina bicromatada.

Planchas fotopolímeras

A partir de los años 1970 los clichés metálicos se han substituido parcialmente por planchas fotopolímeras, como por ejemplo las de las marcas '*Dycril*', '*Nyloprint*' (BASF) o '*Napp*'. Se trata de planchas emulsionadas en fábrica, cuya capa sensible consiste de unos monómeros¹, cuyas moléculas tienen la tendencia de polimerizar bajo el efecto de la luz ultravioleta. Este tipo de substancias reciben el nombre de fotopolímeros.

Las planchas fotopolímeras se insolan en contacto bajo un negativo de línea o tramado mediante una luz ultravioleta. Los sectores de la capa que polimerizan bajo la influencia de las radiaciones UV, las regiones situadas bajo las zonas claras del negativo, se endurecen y se vuelven prácticamente insolubles para el disolvente propio del sistema. Estas zona más adelante serán las que imprimirán, mientras que las otras serán disueltas y corresponden a los blancos del futuro impreso. Los disolventes más usados para fotopolímeros son el alcohol y el agua. Las placas se lavan en máquinas especialmente diseñadas para ello. Hay un tipo de máquina que friega la plancha con un felpudo o una brocha, mientras que otros sistemas trabajan a base de disolvente proyectado con fuerza sobre la superficie de la plancha. El proceso se da por finalizado cuando todos los monómeros se han eliminado de la capa de plástico. Finalmente se seca la plancha con aire caliente. Se recomienda exponer la plancha seca otra vez a la luz UV, esta vez sin negativo, para acabar de endurecer el material restante.

¹ Los monómeros son moléculas que se pueden unir para formar largas cadenas, los polímeros. El nilón es un típico polímero.

Las planchas fotopolímeras con soporte flexible son muy adecuadas para su uso en una prensa rotativa, de manera que en muchas empresas este tipo de planchas ha substituido los estereotipos en la segunda parte del siglo XX.

Offset en seco

La expresión '**offset en seco**' puede llevar fácilmente a confusión: cuando se usa el termino 'offset' sólo, nos referimos tradicionalmente a una impresión litográfica indirecta, también conocido por el nombre de 'lito-offset', mientras que el offset en seco, también llamado **tipoffset**, **letterset**¹ o **tipografía indirecta**, no tiene nada que ver con la litografía. No obstante existen planchas de offset especiales que imprimen sin agua. Es más prudente hablar entonces de offset sin agua.

En el procedimiento de offset en seco se trata de lo siguiente: Sobre el cilindro de una rotativa tipográfica especial se encuentra una plancha tipográfica (como puede ser una placa fotopolímera o un estereotipo) que se entinta de la manera corriente a su paso por debajo de la batería de rodillos. La plancha que se ha confeccionado al revés de una plancha tipográfica corriente, y que se presenta con la letra mirando hacía arriba, no imprime directamente sobre el papel, sino sobre un cilindro recubierto de una mantilla de goma que gira simétricamente al cilindro portador de la plancha. Esta mantilla transfiere la tinta todavía fresca sobre el papel que se mueve entre el cilindro y un cilindro de presión. El procedimiento debe su nombre a esta doble transferencia de tinta. Para entender mejor el procedimiento se puede contemplar el esquema del offset litográfico tal como sale en el capítulo sobre la litografía, eliminando mentalmente la aportación de agua.

La impresión de la plancha sobre la mantilla que da una imagen invertida es una impresión típicamente tipográfica. Pero la transferencia de la tinta de la mantilla sobre el papel, que da una imagen al derecho, ya que es la inversión de la inversión, ya no pertenece al campo de la tipografía, sino de la planografía, ya que no interviene en ella ningún tipo de relieve. El offset en seco es un sistema de impresión combinado que no tiene nada que ver con la litografía.

¹ Palabra derivada de las expresiones inglesas **letterpress** y **offset**.

La flexografía

Se llaman flexográficos aquellos sistemas de impresión tipográfica cuya forma es blanda y flexible. Se puede tratar de estereotipos de goma muy parecidos a los sellos de goma que se usan en las oficinas. La flexografía trabaja casi exclusivamente con prensas rotativas, o sea que la plancha suele estar montada en un cilindro. La tinta es muy líquida, muchas veces a base de alcohol y anilinas. La forma se suele entintar con rodillos estucados que permiten retener determinada cantidad de tinta. En analogía al sistema Nyloprint usado en la tipografía clásica, la casa *BASF* ofrece materiales *fotopolímeros* especialmente adecuados para la flexografía bajo el nombre de *Nyloflex*. El uso de la flexografía se extiende cada día más y es importante sobretudo en el campo de la industria del envasado (cajas, botellas, tubos, latas, etc.) y la impresión de papeles pintados.



La litografía

La litografía comporta un conjunto de sistemas de impresión todos ellos basados en la incompatibilidad mutua de las materias grasas con el agua. También la fototipia está basada sobre este principio. La principal diferencia entre la litografía y la fototipia reside en la posibilidad de esta última de imprimir valores de medio tono auténticos. Se dedicará un capítulo propio a la fototipia.

El inventor de la litografía era *Aloys Senefelder* en 1798. El invento se suele atribuir a la casualidad, pero en realidad se debe al gran aguante del que era autor de varias piezas de teatro que no podía hacer imprimir por falta de medios económicos. *Senefelder* se puso a estudiar las técnicas de impresión tradicionales y creó un sistema de impresión propio. Escribía sus textos con tinta grasa al revés sobre una piedra calcárea procedente de la región alemana de *Solenhofen*, cerca de *Munich*, y mordió la piedra con ácidos, de manera que obtenía una forma tipográfica. Este débil relieve le sirvió para imprimir los textos como si se tratara de composición tipográfica. Un sistema parecido ya lo había usado *Simon Schmid* en 1787 para la impresión de un libro de botánica.

La observación clave la hizo *Senefelder* cuando un día se dio cuenta de que ya se podía entintar la piedra antes de que se hubiera formado un relieve aparente, a condición de que la piedra fuera suficientemente húmeda. Esta observación era el nacimiento de la litografía. La explicación del fenómeno es sencilla y reside en la repulsión entre el agua y la grasa. La tinta litográfica grasa que se compone esencialmente de cebo, cera y hollín se combina químicamente con la cal (CaCO_3) de la piedra para formar una substancia repelente al agua y afín a la grasa. Después de tratar la superficie de la piedra con una mezcla de ácido nítrico diluido con goma arábiga, la piedra se vuelve receptiva al agua.

Si pasamos un rodillo mojado sobre la piedra así preparada, las partes recubiertas de tinta repelen el agua, mientras que las zonas blancas se saturan de líquido. Si a continuación pasamos un rodillo cargado de tinta grasa sobre la piedra, esta sólo quedará adherida a las zonas secas receptivas a la tinta (encrófilas), mientras que las zonas húmedas repelarán la tinta.

Senefelder todavía llamó 'Imprenta Química' a su invento que pronto se conocería como litografía. Este nombre actualmente también se emplea para los procedimientos parecidos en los cuales la piedra ha sido substituida por una plancha metálica. *Senefelder* tuvo la gran suerte de hacer sus experiencias con piedras calcáreas de *Solenhofen*, la piedra más adecuada para ejercer la litografía.

Preparación de la piedra

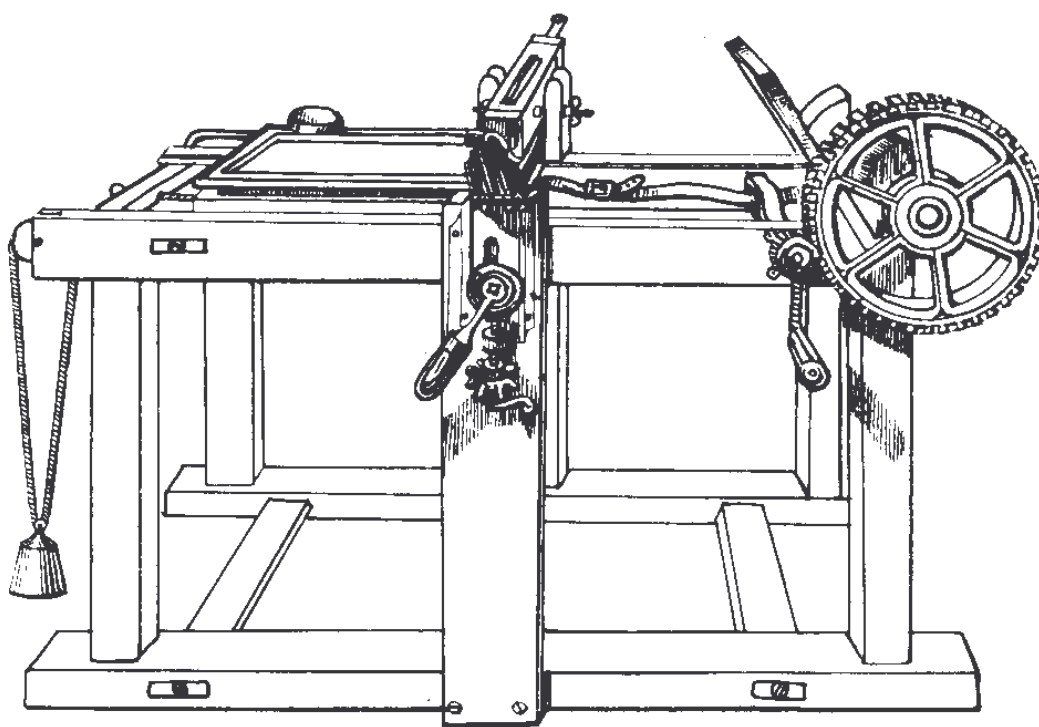
La piedra litográfica tiene que estar sometida a una preparación decisiva para la futura calidad de los impresos. Según la extensión de la superficie se sierran placas de entre 5 y 15 cm de espesor. Después de un pulido impecable el lado de trabajo de la piedra se estructura con un grano más o menos fino, según la dureza de la piedra y la técnica escogida. Se granea la superficie con arena calibrada, empezando con la más gruesa. Para granear la piedra manualmente se aplica una piedra sobre la otra de manera que las capas de impresión se tocan. Entre las piedras se distribuye arena fina y húmeda. Luego se refriegan las dos piedras con un movimiento circulatorio regular. El graneado es una operación difícil y decisiva para la buena calidad del impreso final. Se consigue un granulado particularmente regular en una máquina vibradora. En este caso se recubre la piedra de arena y se ponen unas bolas de acero encima que van graneando la piedra.

La piedra litográfica que es pesada y voluminosa se puede substituir por otros materiales, sobre todo por planchas metálicas. Las primeras pruebas en este sentido se deben a mismo *Senefelder*, así como al pionero de la fotografía *Niepce*, que inventaron el llamado **papel de piedra**. Ambos elaboraron una masa que se repartía sobre papel o plancha y que daba una superficie apta para la litografía, una vez seca. Algunas fábricas producían piedras artificiales, pero no con mucho éxito. El camino más próspero para la substitución de la piedra litográfica pasaba por las planchas de aluminio y de cinc. El tratamiento químico de la superficie de estas planchas es algo diferente del tratamiento de la piedra, pero el principio inherente es el mismo.

Cuando se imprime la litografía a partir de planchas de cinc se habla de **cincografía** (en analogía a la cincotipia que es un procedimiento tipográfico), en caso de usar planchas de aluminio se habla de **algrafía**, en general se suele hablar de **metalografía**.

La impresión litográfica

La litografía clásica se imprime sobre una prensa especial que se puede encontrar bajo diferentes formas, desde la más pequeña prensa manual hasta las grandes prensas automáticas. El principio siempre es el mismo: una vez aplicado el dibujo, la piedra se moja con agua y se entinta inmediatamente. La tinta sólo se adhiere en las zonas que no están mojadas con agua. El papel se pone sobre la piedra y en las máquinas manuales se cubre con varias capas de papel o de cartulina. Finalmente se hace pasar la piedra con el papel por debajo de un rodillo o en algunas prensas manuales por debajo de una rasqueta. La figura 'Prensa litográfica a brazo' representa una prensa manual en la que se ejerce la presión mediante una cuchilla recubierta de cuero con altura ajustable. Las impresiones de artista se suelen tirar sobre papel húmedo. En las prensas automáticas la piedra se moja y se entinta automáticamente en cada movimiento cíclico. En las prensas manuales estas operaciones se efectúan a mano.

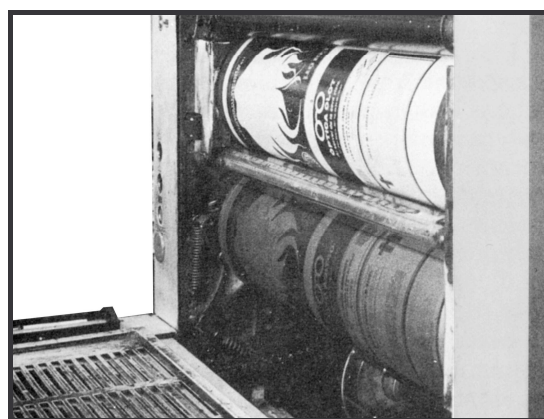
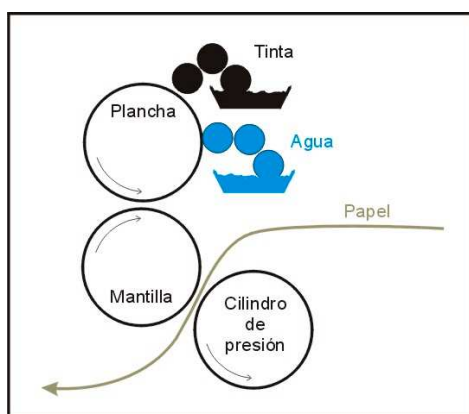


Prensa litográfica a brazo

La impresión litográfica indirecta, en la que la tinta no se transfiere directamente de la forma sobre el papel, trabaja con una forma intermedia, la **mantilla de goma**, que recibe la tinta de la forma y la transfiere a

su vez sobre el papel, el **lito-offset** u **offset** ha sustituido la litografía directa en la mayoría de sus aplicaciones. El principio de la litografía indirecta ya se usaba en la segunda mitad del siglo XIX, pero se limitó a aplicaciones de impresión sobre plancha. *Robert Barclay* y *John Doyle Fry* obtuvieron una patente en Inglaterra por su procedimiento en 1875. Cuando la patente caducó en 1889, la industria de las cajas metálicas notó un auge importante. La impresión indirecta sobre plancha salvaguardaba las piedras litográficas, ya que éstas no entraban en contacto directo con las planchas y se limitaban a imprimir sobre la mantilla de goma. Curiosamente nadie tuvo la idea de extender el uso de este sistema a la impresión sobre papel.

En 1904 un impresor americano, *Rubel*, reinventó la litografía indirecta y la llamó 'offset', por la doble inversión a la que está sometida la imagen y por el hecho que la plancha tiene que ser elaborada al derecho, al contrario del sistema tradicional.



Impresión offset

El offset permite imprimir con buena calidad sobre papeles rugosos, ya que la goma de la mantilla se adapta a las irregularidades del material. Si al principio todavía se construyeron algunas prensas offset que trabajaban con piedras, más adelante la casi totalidad de las prensas de offset eran cilíndricas. Evidentemente éstas no imprimen a partir de piedras cilíndricas, sino de planchas delgadas y flexibles que recubren los cilindros de impresión de acero. La ilustración 'Impresión offset' representa esquemáticamente el principio de una prensa offset clásica de una sola tinta. La plancha primero pasa por debajo de una batería de rodillos mojados con agua y luego toma la tinta de los rodillos del tinero. Esta tinta se deposita sobre la mantilla de goma que a su vez la deja sobre

la superficie del papel que pasa entre el cilindro de goma y el cilindro de contrapresión.

La fotografía de la derecha nos ofrece una vista sobre la parte posterior de una prensa offset y se puede apreciar la plancha en el cilindro superior y la mantilla que recubre el cilindro inferior. Estas máquinas permiten que el impresor acceda a ambos cilindros para efectuar ajustes y retoques de última hora.

Hay esencialmente tres tipos de moldes litográficos, a saber, los de la **litografía plana**, los de la **tipolitografía** y los del **grabado sobre piedra**. Mientras que el primer tipo es el representante más puro de la litografía, los otros dos tipos representan formas combinadas.

En el caso de la tipolitografía la plancha se somete a un mordido ligero hasta formar un poco de relieve. Este relieve mínimo puede llegar a formar una ligera huella (pisada que deja una forma tipográfica en el papel cuando se imprime con demasiada presión), de manera que los impresos tipolitográficos (hablamos aquí de impresión directa, no de offset) se pueden llegar a confundir con auténticos impresos tipográficos. La tipolitografía se imprime exactamente igual como la litografía plana corriente.

Los impresos efectuados como grabados sobre piedra también pueden llegar a mostrar un pequeño relieve, esta vez en el sentido contrario, como si se tratara de una calcografía.

Hay dos clases de técnicas para aplicar el dibujo sobre la piedra, la de las **técnicas directas** o manuales y la de las **técnicas indirectas**. Esta última clase se divide en **técnicas mecánicas** y **fotomecánicas**. El grupo de las técnicas fotomecánicas a su vez se subdivide en **fotolitografía directa** e **indirecta**.

Antes de aplicar el dibujo sobre la piedra o la plancha, la superficie tiene que ser tratada para que acepte la grasa. Se llama **desacidular** a este proceso que se realiza mediante una solución de alumbre o de acetato de aluminio. Las sustancias utilizadas varía según el material (piedra, aluminio, cinc) utilizado. Ahora la piedra es altamente receptiva para la tinta grasa del dibujo.

Una vez aplicado el dibujo se **acidula** la plancha o la piedra con una solución acuosa de goma arábica con ácido nítrico muy rebajado. Este tratamiento vuelve altamente hidrófila la superficie de la piedra que no está recubierta de tinta. La receptividad por el agua todavía aumenta gracias a la delgadísima capa de goma arábica que recubre la plancha. Pero el ácido también influye sobre las zonas recubiertas de tinta,

combinándose químicamente con la tinta y haciendo que esta se adhiera íntimamente a la piedra.

Si en esta fase hay que añadir algún detalle al dibujo, hay que volver a desacidular la piedra...

Una vez acidulada la piedra, se enjuaga abundantemente; finalmente la tinta litográfica se puede eliminarse con un disolvente orgánico adecuado y la piedra está lista para la tirada.

Las técnicas directas

En las diferentes técnicas directas o manuales, un artista especializado realiza el dibujo directamente sobre la piedra. Se puede dibujar con un lápiz litográfico. Para esta técnica se recomienda el uso de una piedra bastante granulada. La tinta litográfica se puede aplicar mediante un pincel o una plumilla. Para simular medios tonos la tinta puede salpicarse sobre la piedra con un cepillo y un colador. *Toulouse Lautrec* usaba esta técnica que se llama **crachis** para elaborar sus famosos carteles.

Algunos artistas dominan la técnica que consiste en la aplicación de tinta litográfica en diferentes grados de disolución en agua sobre la piedra para imitar medios tonos. Estos efectos que simulan medios tonos precisan de un gran dominio técnico y se basan en la granulosis de la piedra y de la tinta. Aproximadamente en 1840 el litógrafo inglés *Hullmandel* inventó este sistema que llamó **Lithotint** y que vamos a traducir aquí por **litotinta**. Se trata de pintar sobre la piedra con una emulsión a base de tinta grasa y agua. Recordamos que la tinta grasa y el agua no se disuelven, pero se pueden mezclar, de la misma manera como podemos hacer una mayonesa. Al secarse el agua, sobre la piedra se acumulan finas partículas de tinta grasa y al imprimirse, las pinceladas tienen un aspecto muy parecido a la acuarela, incluyendo el margen oscuro que envuelve los trazos.

Son especialmente famosas las litografías del gran caricaturista *Honoré Daumier*.

La tinta de reserva litográfica es una solución acuosa de gelatina con tinta soluble al agua que se emplea para proteger todas las zonas de una forma litográfica que no deben coger la tinta grasa. La tinta de reserva por ejemplo permite hacer dibujos en negativo: para ello hay que dibujar con tinta de reserva en vez de tinta litográfica. Una vez está seca la piedra se embadurna toda con tinta grasa. Luego se disuelve la reserva con agua y se acidula la piedra. Los impresos aparecerán blancos en las zonas que habían estado recubiertas de reserva; las otras zonas quedarán negras.

La calcografía manual que ya se practica desde el siglo XV dispone de una serie de técnicas que son el resultado de los intentos de imitar

ciertas técnicas de dibujo mediante el grabado. Analógicamente hay una serie de técnicas litográficas que han nacido por el anhelo de imitar o incluso de sustituir ciertas técnicas calcográficas, como la manera negra litográfica o el aguatinta litográfico raramente practicado.

La **manera negra litográfica** debe su nombre a la manera negra calcográfica inventada por *Siegen* en 1641. Igual que en este procedimiento que será descrito en el capítulo dedicado a la calcografía, y como también en la xilografía, el artista empieza con una forma (en este caso una piedra o plancha litográfica) preparada para imprimir un fondo totalmente negro. La piedra, reservando los futuros márgenes, se cubre de una fina capa de solución asfáltica a base de trementina, a la que se puede añadir un poco de resina o de cera para aumentar la adhesión.

Se puede aplicar la capa de asfalto a mano o mediante un rodillo. Una vez bien seca, el artista rasca todas las zonas que tienen que salir en blanco en la impresión. Para este fin se pueden usar todo tipo de rascadores, de buriles, de agujas e incluso de ruletas. Una vez terminado el dibujo, la plancha se acidula como si se tratara de una litografía a la tinta litográfica. Previo desacidulado se pueden aplicar retoques con un lápiz graso o con tinta litográfica.

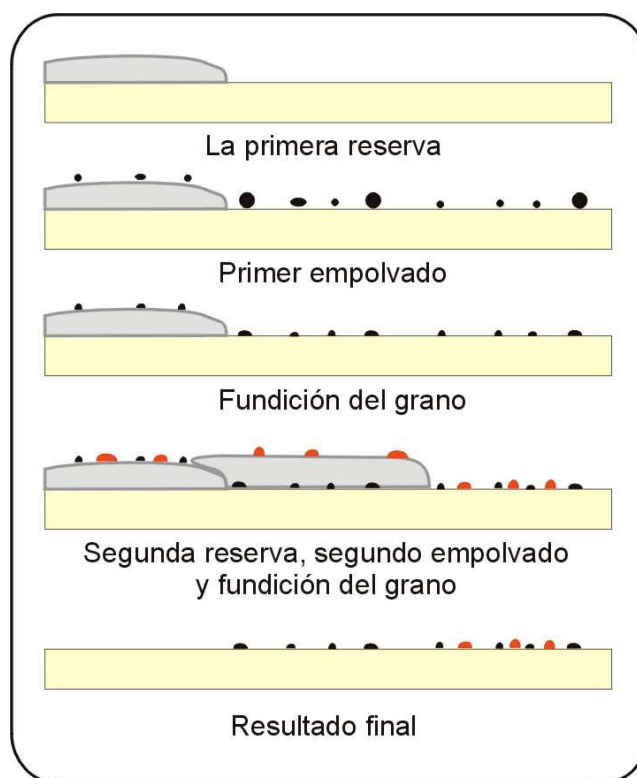
Otra técnica litográfica poco usada que fue desarrollada a partir de una técnica calcográfica es el **aguatinta litográfico**. Cuando se habla de aguatinta a secas uno siempre se refiere a una aguatinta calcográfica, técnica calcográfica muy extendida, mientras que las aguatinas litográficas son más bien escasas. Se trata de la técnica siguiente: Sobre la piedra se reservan las zonas que tienen que aparecer en blanco en la obra final con una mezcla de gelatina y de un colorante blanco, por ejemplo blanco de cinc. Luego la superficie de la piedra se empolva con polvo de asfalto en una caja de polvo como la que se describe más adelante en el capítulo dedicado a la calcografía. Cuando la cantidad de polvo depositada en la superficie de la piedra se juzga suficiente, se saca cuidadosamente la piedra de la caja. Con una fuente de calor, por ejemplo una plancha caliente, se calientan los granitos sin tocarlos, hasta que se funden y los granitos que no se hallan encima de la reserva blanca se quedan bien adheridos a la piedra.

Las zonas que tienen que imprimirse en la primera tonalidad simulada correspondiente a los granitos adheridos se cubren de reserva. Una vez seca la capa de reserva, la piedra se vuelve a someter a un empolvado en la caja de resinas. Por segunda vez se funden los granitos con una fuente calorífica.

Este proceso se puede repetir tantas veces como hace falta. Al final se enjuaga la piedra hasta la desaparición de las diferentes capas de reserva. Finalmente la piedra se acidula y se la limpia como si de un dibujo directo

se tratara. El dibujo 'Aguatinta litográfica' esquematiza el proceso y considera el caso de dos empolvados.

En el capítulo sobre la calcografía veremos que el aguatinta tradicional (el calcográfico) puede obtener todos los tonos con un solo empolvado. Esto es consecuencia de la posibilidad de la calcografía de imprimir simultáneamente capas de tinta de grosor diferente.



Aguatinta litográfica

El grabado sobre piedra

El grabado sobre piedra es una forma intermedia entre la litografía y la calcografía. La superficie de la piedra se recubre de una capa de gelatina teñida que facilita el control al artista. A través de esta capa se graba ligeramente el dibujo en la superficie de la piedra con herramientas adecuadas. Una vez finalizado este trabajo, la piedra entera se embadurna con aceite. Finalmente se lava la piedra para eliminar la capa de gelatina. La piedra todavía mojada se entinta con un trapo lleno de tinta, una especie de 'poupée' como las que se utilizan en los sistemas calcográficos. Se limpia la tinta que ha quedado en las zonas mojadas y se imprime como si fuera una litografía normal.

Igual que los grabadores xilográficos, para la confección de impresos comerciales litográficos los grabadores disponían de máquinas grabadoras que permitían trazar unas líneas rigurosamente paralelas y de un espesor constante. Una vez grabado todo el dibujo, las líneas se mordían con una solución de ácidos adecuados. Una vez lavada con agua la superficie de la piedra se limpiaba con disolventes para eliminar el asfalto con un trapo y el disolvente correspondiente. Ahora se entintaba como si se trataba de una calcografía, rellenando los surcos y limpiando la superficie. La piedra así preparada se imprimía como una litografía corriente.

Las técnicas indirectas

Cuando el dibujo no se aplica con lápiz litográfico, tinta grasa o asfalto directamente sobre la piedra, hay sistemas mecánicos para calcar el dibujo sobre la piedra. Si en el curso de este tipo de transferencia interviene una reacción fotográfica, se habla de un sistema fotomecánico o fotolitográfico. En el capítulo dedicado a la tipografía se decía que los sistemas de transferencia litográfica forman la base para el grabado en profundidad de las planchas cincotípicas (clichés). No es ninguna casualidad que los primeros intentos de morder formas tipográficas sobre planchas metálicas se realizaron en los primeros años que siguieron a la divulgación de la técnica litográfica.

La autografía

La autografía es un sistema litográfico indirecto que permite transferir un dibujo hecho sobre un tipo de papel especial (el papel autográfico) con lápiz grasa. El papel autográfico puede tener una superficie lisa o puede estar previsto de una textura de grano irregular, lo que facilita la simulación de tonos grises. La tinta grasa autográfica tiene una composición específica. Para realizar la transferencia del dibujo sobre la piedra, el papel se moja desde su anverso y se la aplica con la capa dibujada abajo sobre la piedra desacidulada. Entonces se pasa la piedra varias veces por la prensa, aumentando la presión a cada pasada, para que la tinta quede bien adherida a la piedra. Finalmente se reblandece el papel con agua y se retira el papel de la piedra. La tinta queda adherida a la piedra que a continuación se acidulará como en el caso de un dibujo directo sobre la piedra.

La impresión anastática

La impresión anastática es una generalización de la autografía que permite obtener una piedra litográfica a partir de un impreso que no se había elaborado para esta finalidad. La impresión anastática se usó mucho en el siglo XIX para reeditar documentos que se habían impreso mediante procedimientos tipográficos o litográficos. Algunos originales calcográficos se prestaban a ser reproducidos de esta manera, pero hay que tener en consideración que los medios tonos auténticos producidos por la calcografía no se pueden reproducir con sistemas litográficos. Las fototipias y la mayoría de los impresos de varias tintas no se suelen prestar a ser reproducidos con este sistema. Hace muchas décadas que la impresión anastática casi no se usa, ya que de un lado es una técnica difícil y de otro lado los procedimientos fotomecánicos permiten reproducir los originales sin dañarlos. Pero en los primeros tiempos de la litografía la impresión anastática ofrecía posibilidades muy interesantes, sobre todo para la edición en facsímile.

El principio de la impresión anastática consiste en mojar el impreso original con una solución acuosa de goma arábica y otras sustancias para luego entintar el papel con un rodillo con tinta grasa. Aquí tenemos otra vez el principio de la litografía: las letras, que no han aceptado el agua ahora aceptan la tinta, mientras que el papel no impreso, que está mojado, la rechaza. La página entintada se transfiere sobre la piedra como un dibujo autográfico.

La transferencia litográfica

En litografía es fácil preparar piedras idénticas a partir de una piedra preparada. Esta manera de obtener un duplicado de una piedra original se llama **transferencia litográfica** de una piedra a otra. Reiterando esta técnica se puede obtener un número casi ilimitado de impresos a partir de una piedra original. A veces se hacen varias copias de una piedra pequeña sobre una misma piedra de gran tamaño.

A partir de la piedra original se imprime una prueba sobre un tipo de papel preparado especialmente, muy parecido al papel autográfico, con una tinta grasa especial. Sobre la piedra receptora mojada se disponen las copias con el dibujo hacía abajo, y se hace pasar al conjunto varias veces por la prensa, aumentando la presión a cada pasada. Luego el papel se va

mojando hasta desprenderse fácilmente de la piedra sobre la que se habrá quedado adherida la tinta grasa del dibujo. Esta piedra ya está a punto de ser preparada como una piedra litográfica corriente preparada a la pluma o al lápiz litográfico.

Curiosamente la transferencia litográfica ya en la primera mitad del siglo XIX permitió ampliar y reducir los impresos. Incluso era posible estirarlos sólo en una dirección como ahora se puede hacer sencillamente con los modernos programas de retoque fotográfico. Para obtener una ampliación de un dibujo en una piedra litográfica se disponía de una mantilla de goma extensible tensada en un marco especial mediante muelles. Luego la mantilla se tensaba hasta obtener el tamaño de la imagen deseado. Finalmente se efectuaba la transmisión sobre la piedra nueva. Para obtener una reducción se hacía la transferencia sobre una mantilla ya estirada. Luego se destensaba la mantilla antes de transferir el dibujo sobre la piedra.

La fotolitografía

La fotolitografía se subdivide en fotolitografía directa e indirecta. La primera es comparable a la transferencia de un dibujo autográfico sobre una piedra, mientras que la fotolitografía se puede comparar en este mismo sentido con el dibujo directo sobre la piedra. El invento de la fotolitografía directa se atribuye a *Poitevin*, alrededor de 1855. La fotolitografía indirecta fue practicada por primera vez por *E.I. Asser* en Amsterdam en 1857 y ya pronto dejó de practicarse.

Tanto para las técnicas directas como para las indirectas el original fotográfico tiene que ser de líneas o tramado, pero nunca de tono continuo. Para reproducir tonos continuos, primero hay que confeccionar reproducciones tramadas¹.

A continuación vamos a describir el procedimiento histórico de la fotolitografía indirecta, tal como fue practicada por los pioneros de la fotolitografía. El papel que tendrá que servir para la transferencia sobre la piedra tiene que ser bien liso y estar bien encolado con una gelatina de dureza mediana. Este papel se sensibiliza en una solución acuosa de un

¹ Hay que mencionar aquí el hecho de que antes de la invención de la autotipia por Meisenbach en 1882, se practicaban diferentes procedimientos fotolitográficos que aprovechaban al grano de la piedra, el de la emulsión fotográfica o el del papel de transferencia para descomponer las tonalidades del original de tono continuo. Todos estos procedimientos eran de difícil ejecución e inseguros, de manera que sólo se aplicaban excepcionalmente y desaparecieron después de la divulgación de la autotipia.

bicromato. Después de haber quedado unos minutos en este baño sensibilizador, el papel se prensa contra una superficie de cristal bien limpia. Una vez el papel seco, se separa con cuidado y ya está a punto para estar insolado bajo un negativo fotográfico de líneas o tramado. Generalmente, un cliché fotográfico usado para insolar una forma de impresión de cualquier tipo, tipográfica, litográfica u otra, se llama **fotolito**, **fototipo** o **tipón**. El efecto de la insolación se manifiesta por un tono amarillento que acepta el papel sensible situado bajo las zonas transparentes del negativo.

La superficie del papel insolado se entinta con una tinta grasa especialmente destinada a este fin. La capa de tinta tiene que ser tan fina, que el tono amarillento todavía se puede apreciar a través de ella. La copia entintada se deja en remojo durante media hora en una cubeta con agua fría, donde las partes no insoladas de la gelatina se hinchan de agua, la cual penetra a través del soporte de papel. La tinta situada encima de estas zonas pierde su adhesión. La copia se saca del baño de agua y se pasa un rodillo ligeramente entintado con tinta grasa. La tinta que ha perdido su adhesión queda pegada en la superficie del rodillo, mientras que las partes de gelatina endurecidas por la luz amasan más tinta del rodillo en cada una de las pasadas. El papel así preparado se transfiere sobre una piedra o una plancha litográfica como si se tratara de un dibujo autográfico.

Los procedimientos fotolitográficos directos que forman la base de la producción moderna de planchas destinadas a la impresión litográfica indirecta, offset, se caracterizan por la aplicación directa de la capa fotosensible sobre la superficie de la plancha. Actualmente todos los procedimientos fotolitográficos en uso son directos, y se usan casi exclusivamente planchas metálicas.

Para la fotolitografía directa se pueden usar diferentes sustancias fotosensibles, como las gelatinas bicromatadas, el betún de Judea (que pierde la solubilidad bajo el efecto de la luz y que ya no se usa desde hace mucho tiempo, debido a su poca sensibilidad), los diazos (que se desintegran bajo el efecto de la luz y dejan unos residuos solubles), y finalmente los fotopolímeros. Usando cualquiera de estos sistemas, el principio siempre es el mismo: una vez la capa sensible distribuida sobre la plancha, se pone en contacto con un negativo o un positivo (según el procedimiento) de líneas o tramado y se insola, generalmente con luz ultravioleta. Por la acción de la luz la capa sensible sufre una alteración química detrás de las áreas transparentes de la película, llamada fotolito. Según el procedimiento empleado estas zonas de la emulsión se habrán vuelto insolubles a ciertos disolventes o, al contrario, se habrán desintegrado y podrán ser disueltos por los disolventes adecuados que se utilizarán para el revelado de la plancha. En ambos casos la plancha habrá

quedado recubierta de una reserva que permitirá diferentes tratamientos posteriores. La capa sensible, si es encrófila, puede servir directamente para retener la tinta de la tirada, o puede servir de reserva para el mordido parcial de la plancha, cuando se trata de confeccionar un cliché tipográfico por un sistema parecido al que se describe en el capítulo dedicado a la tipografía.

Por la situación de las áreas impresas en relación con las áreas hidrófilas (las que aceptan el agua durante la tirada), las planchas fotolitográficas dedicadas al offset se suelen clasificar en tres grupos: planchas en hueco, planas y en relieve. Estas pequeñas diferencias de nivel no tienen ninguna importancia práctica durante la tirada, ya que las diferencias de nivel son extremadamente pequeñas. En los tres casos se trata pues de sistemas de impresión totalmente planográficos que no hay que confundir con procedimientos mixtos como el grabado sobre piedra o la tipolitografía.

Las planchas de offset en hueco pueden ser planchas bimetálicas, formadas por una capa de metal encrófilo recubierta de otra capa de metal hidrófilo. La delgada capa superior se muerde con ácidos en las zonas que tienen que salir negras en la impresión. La capa fotolitográfica actúa de reserva. A menudo se usa el cobre recubierto de cromo. Este tipo de planchas aguanta tiradas muy largas.

La casa 3M ha desarrollado planchas planográficas que no necesitan agua para mantener las zonas que no imprimen libres de tinta. En estas planchas las zonas no encrófilas están hechas de un material plástico que rechaza la tinta grasa. Este sistema llamado driografía tiene el inconveniente de exigir tintas especiales. Las planchas driográficas se pueden usar en cualquier prensa offset tradicional, sencillamente suprimiendo el agua del mojado.

El proceso de trabajo en una imprenta offset clásica

Para facilitar una mejor percepción de la práctica de la impresión offset, aquí describiremos brevemente la elaboración de un impreso, tal como se solía realizar en una imprenta tradicional hasta finales del siglo XX.

Partiremos de un catálogo que consiste de una única hoja de tamaño A4, impreso de un lado (recto) en cuatricromía y del otro lado (verso) en una sola tinta. Se trata pues de hacer pasar por la prensa a cada hoja 4 veces para el recto y una vez para el verso.

Se hacen fotos de las imágenes sobre película de diapositivas, si es posible sobre material de gran tamaño, como por ejemplo 9 x 12 cm. Con una pequeña pérdida de calidad también sirven ampliaciones sobre papel. Las pequeñas imprentas encargan las separaciones de color a empresas de fotograbado especializadas que entregan los 4 fotolitos con las separaciones conjuntamente con unas pruebas de impresión. Estas pruebas incluyen un impreso en cada uno de los colores, cyan, magenta, amarillo y negro, así como las combinaciones de 2 y 3 colores.

Los originales en blanco y negro normalmente se reproducen en la misma imprenta mediante una cámara de reproducción. Para ello se suele exponer una película de tipo Lith¹ a través de una trama de contacto; luego se la revela a mano o en una máquina de revelar adecuada. El laboratorio suele estar iluminado por luz de color rojo oscuro, ya que los materiales sensibles suelen ser ortocromáticos. Solo en casos excepcionales, como en el caso de la reproducción a partir de originales de color, hay que usar materiales pancromáticos que hay que procesar en oscuridad total.

El negativo tramado acabado de secar se pega sobre una hoja milimétrica encima de la mesa luminosa. Ahora hay que delimitar la superficie tramada hacía afuera, lo que se realiza con una delgada cinta adhesiva roja. En casos excepcionales también es posible delimitar el negativo con una máscara hecha de un negativo de línea o con una pintura opaca que se aplica mediante un pincel sobre el lado opuesto a la emulsión.

Los dibujos de línea y la fotocomposición se exponen en la cámara sin intercalar ninguna trama. Estos negativos se retocan mediante pintura opaca, sobre todo para eliminar los puntos blancos producidos por pequeñas partículas de polvo, las sombras de los originales, así como los rastros de las cintas adhesivas.

A pesar de la posibilidad de proceder al montaje ya con los negativos, en la mayoría de imprentas se solían montar las películas positivas.

Los negativos se copian mediante una prensa de contacto sobre película Line para obtener imágenes positivas. Para este fin las películas se enfrentan emulsión contra emulsión, se colocan bajo el cristal de la prensa, se hace el vacío y se expone la película virgen a través del negativo con una fuente de luz. Es conveniente que la luz sea puntual y mantenga cierta distancia de las películas. Luego la película Line se revela, lo que da un positivo.

Estos positivos son los que se colocan sobre una hoja de montaje llamada **Astralón**² que normalmente tiene el mismo tamaño que la

¹ Si la cámara no tiene prisma de inversión, hay que exponer la película a través del soporte, lo que aumenta notablemente los tiempos de exposición.

² El Astralón es un polímero parecido al Nylon.

plancha offset. Muchas imprentas trabajaban con un sistema de perforaciones de registro practicadas en los Astralones, las planchas y el cilindro de la prensa, para evitar cualquier ajuste de posición en la prensa.

El Astralón se fijaba sobre la mesa luminosa encima de una hoja milimetrada, de manera que los objetos aparecen invertidos y con las emulsiones fotográficas hacía arriba. Cuando hay distancias suficientes de los márgenes, el montaje se puede efectuar mediante cinta adhesiva. En las otras zonas hay que usar cola transparente para evitar desniveles que se manifestarían en forma de zonas blancas en los futuros impresos. Generalmente ya en esta fase del trabajo se fijan los futuros cortes del papel mediante unas marcas preparadas sobre película fotográfica.

En general es muy importante que todos los elementos sean montados al mismo nivel, de manera que en la prensa de copia de contacto las películas mantengan un contacto perfecto con la superficie de la plancha. Especialmente las películas tramadas cortadas muy cerca de la imagen pueden causar problemas. En estos casos conviene compensar los niveles mediante una tira de película transparente pagada al lado de la imagen. Es especialmente peligroso montar dos películas una encima de la otra, cosa que sólo se puede hacer cuando hay distancias suficientes entre las zonas que imprimen.

Cuando en la prensa de contacto hay una distancia entre la emulsión de una película y la plancha, se filtra luz por debajo de los negros, los cuales quedan reducidos desde todos los lados en cierta medida, que depende de varias circunstancias. Los elementos pequeños como puntos de trama o líneas delgadas desaparecen completamente, sobre todo cuando la luz de la insolación es difusa. Las grandes masas prácticamente no quedan afectadas.

Una vez montado el Astralón que corresponde a la página blanca y negra de nuestro catálogo, se va a montar el Astralón correspondiente a la tinta negra del anverso. Este Astralón se monta sobre el primero al que se ha dado la vuelta, para garantizar la correcta correspondencia de ambos lados por transparencia.

Una vez montado el negro, los Astralones de los 3 colores se montan de uno en uno encima del Astralón correspondiente al negro. Las separaciones de color tramadas se suelen entregar con cruces de registro que permiten obtener un registro perfecto. A veces nos vemos obligados a cortar las cruces de registro una vez hecho el montaje, ya que se superpondrían a otros elementos importantes del montaje. Si caen en una zona blanca se recomienda dejarlas en su sitio. Una vez hecha la copia sobre la plancha se pueden borrar con unos lápices especiales. En todos los casos se recomienda incluir en cada color del montaje unas cruces de registro suplementarias, si es posible, en el área que quedará cortada al

final de la impresión. También en esta zona se suelen montar cuñas de control, para poder evaluar la calidad de la impresión durante la tirada.

Después del montaje en la mesa luminosa los Astralones (en nuestro caso son 5) se trasladan al cuarto de las copias. Las planchas que se usan aquí son fotosensibles, pero normalmente se puede trabajar con luz amarillenta clara, ya que la sensibilidad de las planchas se suele limitar al ultravioleta. Sobre la prensa al vacío de la insoladora se coloca la primera plancha virgen y encima de ella, con el lado de las emulsiones hacia abajo, el primer Astralón. Cuando hay grandes distancia entre las películas se recomienda hacer unos puentes con tiras de película transparentes, ya que más adelante la canaleta que se formará entre la plancha, el Astralón y la tira de película dejará paso al aire que se evacuará rápidamente y sin problemas. Luego se cierra el marco de la prensa al vacío y se conecta la bomba de vacío hasta que la presión entre las películas y la plancha sea suficiente. Ahora se enciende la luz actínica durante el tiempo necesario para nuestro tipo de planchas, normalmente determinado empíricamente.

Ahora se puede sacar la plancha de la insoladora y empezar a revelar la plancha. Según la empresa esto se hace a mano o con una máquina más o menos automática. Si se revela a mano, primero se friega la plancha con una esponja y un líquido que disuelve la emulsión de las planchas positivas en las zonas afectadas por la luz. Una vez limpia, la plancha se enjuaga y se le aplica un protector a base de goma arábiga. También se puede optar a fijarla directamente sobre el cilindro de impresión de la prensa y empezar a imprimir.

Una vez en la máquina, el impresor primero tiene que lavar la capa de goma. Los elementos indeseados en el impreso final, como manchas, anotaciones o cruces de registro pueden ser eliminadas mediante un lápiz especial. Sobre el cilindro la posición de la plancha todavía puede ser ajustada para garantizar un registro perfecto. Un perfecto sistema de registro con orificios de precisión ahorran estos ajustes laboriosos. La incidencia lateral del papel sobre la plancha también se puede ajustar en el marcador¹ de la máquina.

Para efectuar todos los ajustes, normalmente hay que imprimir 20 o 30 pliegos de prueba. Luego se puede empezar con la tirada. En una offset pequeña o mediana se suelen imprimir entre 4.000 y 6.000 pliegos por hora aproximadamente.

Ya que los papeles recién impresos tienden a pegarse entre ellos y a ensuciarse mutuamente (repintar), muchas veces los papeles se recubren con una fina capa de unos polvos antimaculadores inmediatamente

¹ El marcador es el aparato que va cogiendo de una en una las hojas de la pila de entrada de la máquina para guiarla hasta la plancha.

después de imprimirse. El aparato que pulveriza estos polvos está sincronizado con la prensa. Las tintas modernas son de secado muy rápido y suelen evitar el uso de polvos antimaculadores en la mayoría de los casos. De todas formas en los trabajos delicados conviene evitar el apilado de demasiadas hojas. Antes de cortar el papel hay que dejar pasar un plazo suficiente, para evitar que las hojas repinten bajo la presión de la guillotina.

En una máquina de una sola tinta hay que limpiar al tintero y toda la batería de rodillos con esmero antes de iniciar una tirada en otro color. En las máquinas de cuatro colores las hojas se trasladan sucesivamente de un módulo al próximo. También existen prensas que trabajan con un único cilindro de contrapresión, alrededor del cual giran los cilindros intermedios revestidos de las mantillas. Se habla de máquinas en disposición de satélite.

Una vez impreso por ambos lados nuestro catálogo ya solo tiene que estar cortado y las hojas dobladas.



La fototipia

La fototipia es un sistema de impresión planográfica fundado como la litografía en la incompatibilidad del agua y del aceite. Mientras que los sistemas litográficos no permiten imprimir densidades variables de tinta, y tienen que recurrir a una estructuración de la superficie en elementos de extensión variable para poder simular las medias tintas, la fototipia permite realizar impresos que hacen pensar en fotografías de tono continuo hasta en su micro-estructura. Técnicamente la fototipia es un procedimiento a la goma bicromatada.

Recordemos que hay dos maneras de revelar relieves de gelatina bicromatada, los cuales podríamos llamar manera dinámica y manera estática. El objetivo del revelado dinámico es la disolución de la gelatina bicromatada no insolada, como por ejemplo en el caso de la fotografía al carbón, mientras que el relevado estático se efectúa sin disolver la gelatina, la cual se limita a absorber una cantidad de agua inversamente proporcional a la intensidad de insolación que ha recibido en cada área. Este es el sistema que se emplea en la fototipia, pero también en la oleotipia y en la pinatipia. En el momento de entintar la forma fototípica, la gelatina estará hinchada al máximo de agua y la tinta se dosificará por dos efectos:

- * La gelatina tendrá más tendencia a aceptar la tinta grasa cuando más seca y dura es.

- * Hay una tendencia a formarse acumulaciones de tinta en los negros de máxima intensidad, ya que estos están situados al nivel más bajo de la plancha.

Las formas fototípicas se imprimen en una prensa muy parecida a las prensas litográficas. El entintado se efectúa mediante dos tipos de rodillos, los primeros con recubrimiento de piel dura que sirven para entintar los negros de máxima intensidad, y los segundos de gelatina para los medios tonos.

La fototipia es un procedimiento de lujo que permite la confección de impresos de alta calidad. Por su elevado coste y por sus dificultades técnicas sólo quedan unas cuantas imprentas especializadas que se dedican a la fototipia.

Los primeros intentos en el campo de la fototipia se atribuyen a A. *Poitevin* aproximadamente en 1855. *Poitevin* utilizó piedras litográficas y planchas metálicas como soporte de la gelatina bicromatada. En la prehistoria de la fototipia también ha y que mencionar *Tessié du Motay* y *C. R. Maréchal*, quienes investigaron el proceso en 1865 en la ciudad de Metz. La forma clásica de la fototipia se debe a *I. Husnik* en Praga i sobretudo a *J. Albert* de Munich, quienes mejoraron decisivamente la técnica aproximadamente en 1868.

El soporte que sirve de forma suele ser una placa de cristal de varios centímetros de espesor. Antes de ser emulsionada tiene que estar rigurosamente limpia para impedir que más adelante, durante la tirada, el roce de la máquina cause un desprendimiento de la sensible capa de gelatina. La superficie del cristal puede ser lisa o ligeramente esmerilada. Las placas que ya han servido para una tirada se pueden reutilizar después de una buena limpieza con potasa cáustica o con ácido sulfúrico para eliminar cualquier residuo de gelatina. La limpieza finaliza con piedra tosca y amoníaco.

Para asegurar una buena adhesión a la capa de gelatina bicromatada, la placa se reviste de una capa previa que puede ser de gelatina endurecida o de silicato de potasa. Una vez que esta capa previa esté seca del todo, la placa se calienta y se emulsiona con una gelatina que se puede preparar de la manera siguiente:

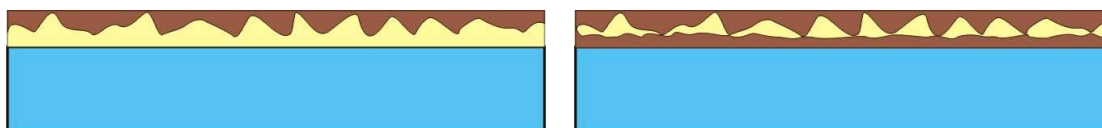
En un litro de agua se disuelven 100 g de gelatina y se deja fundir al baño María; una vez disuelta la gelatina se añaden 25 g de bicromato de potasio. La gelatina usada para practicar la fototipia tiene que ser de primerísima calidad. La mezcla, bien homogeneizada y filtrada, se reparte uniformemente sobre la placa de cristal, la cual enseguida se pone a secar en una posición rigurosamente horizontal en un secador especial, dentro del cual se evita cualquier corriente de aire.

La cantidad de solución distribuida varia entre 40 y 50 cm³ para una superficie de 1.000 cm², según la temperatura ambiental, la humedad atmosférica i la finura del grano que se desea obtener. En invierno se recomienda preparar emulsiones más gruesas, ya que las temperaturas más bajas del agua dificultan el hinchamiento de la emulsión. La temperatura ideal del horno de secado es de unos 50 a 60° C. Las placas tienen que permanecer entre una y dos horas en el secador. Es aquí que se forma el grano de la fototipia, una especie de 'craquelure' debida a las tensiones que se producen en la piel superficial, que es la primera en secarse, cuando el agua se evapora a través de ella. Esta estructura está representada en una figura del capítulo 'CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS'. Esta estructura no molesta la vista en la contemplación de los detalles, y la superposición de impresos, como en el caso

de la cuatricromía, no produce ningún tipo de moiré, ya que este grano es totalmente irregular.

La forma fototípica tiene que usarse en un plazo breve de pocos días, lo que excluye la posibilidad de emulsionar placas de fototipia industrialmente.

Para la insolación se usa un negativo de medio tono invertido (o si se trata de reproducir originales de línea, se puede usar un negativo de tipo line o lith). El negativo se pone en contacto encima de la placa de cristal y la insolación se efectúa debajo de una fuente de luz ultravioleta. El tiempo de exposición depende de la gelatina bicromatada, del negativo, de la fuente de luz y de su distancia de la placa. Las pequeñas desviaciones del tiempo perfecto todavía se pueden compensar durante la tirada con el grado de humedad.



Sin insolación a través del soporte

Con insolación a través del soporte

Algunos autores recomiendan una insolación suplementaria a través del soporte. El esquema adjunto ilustra el sentido de esta exposición auxiliar: La capa de gelatina más o menos endurecida reposa sobre una capa de gelatina blanda, sobre la cual la luz no ha tenido prácticamente ninguna influencia. Esta capa de gelatina más baja no contribuye en nada a la futura calidad de la impresión, pero durante la tirada tiene la tendencia de hincharse de agua durante el trabajo, lo que facilita el desprendimiento de toda la capa bajo la influencia de la prensa. Si se efectúa la insolación a través del soporte de tal manera, que las zonas más oscuras de la imagen se unen con la capa endurecida del fondo de la placa gracias a la insolación auxiliar, se forma una especie de malla que contribuye mucho a la estabilidad de la emulsión. Esta insolación auxiliar tiene que estar bien ajustada, ya que puede oscurecer la imagen, si es demasiado larga, y quedar sin efecto en el caso contrario.

La placa insolada se lava con agua, donde se eliminan los cromatos y donde la capa de gelatina se hincha. Este revelado puede durar varias horas. Después del revelado se deja secar bien la placa, para que la capa de gelatina situada en el fondo pueda secarse bien. Antes de la tirada se moja la superficie de la forma con una mezcla de glicerina y de agua. La misión de la glicerina consiste sobre todo en evitar la evaporación del agua. La humidificación puede durar media hora. Una vez eliminada el agua superficial se mete la placa en la prensa, mejor encima de un papel

blanco, que facilita apreciar el entintado. Primero se entinta la superficie de la placa con un rodillo duro de cuero (para los tonos oscuros) y luego con un rodillo de gelatina suave (para los tonos claros). A veces se aplica una tinta más oscura con el rodillo de cuero y otra más clara con el rodillo de gelatina.

En 1924 *Eugen Albert* inventó la fototipia con soporte de película, donde la placa de cristal se substituyó por una película flexible. Este sistema incluso permitió imprimir fototipias en prensas tipográficas, conjuntamente con moldes tipográficos, a condición de ir humidificando la película de la misma forma que en la fototipia tradicional.

Uno de los últimos hallazgos en el campo de la fototipia es el sistema **Film-Collotype**, una fototipia indirecta a base de películas en la que se imprime primero sobre una mantilla, como en el caso del offset. El sistema **Film-Collotype** permite imprimir hasta 50.000 reproducciones de medio tono libres de trama por hora.

Había una época en la cual la mayoría de las tarjetas postales se imprimían en fototipia.



La serigrafía

Todos los sistemas de impresión basados sobre la penetración de la tinta a través las zonas abiertas de la forma se llaman permeográficos. Los sistemas permeográficos se subdividen esencialmente en serigrafía y en plantigrafía. En la plantigrafía la tinta se aplica sobre el papel mediante un rodillo o una pistola reservando las zonas que tienen que quedar libres de tinta con una plantilla (por ejemplo una plantilla de lata para rotular). Se puede considerar a la serigrafía como un caso especial de la plantigrafía, ya que en este caso la forma consiste de una fina malla llamada pantalla, extendida sobre un bastidor cuadrado, que está obstruida en los sitios dónde no hay que aplicar tinta. La tinta se aplica mediante una racleta o rascleta que obliga la tinta a penetrar a través de la malla.

El país de origen de la serigrafía es China, dónde esta técnica ya se practica desde hace varios siglos para embellecer los tejidos. El mundo occidental adoptó esta técnica a finales del siglo XIX y en Lyon se convirtió en la base de una importante industria. Actualmente la importancia de la serigrafía es comparable a la tipografía, la calcografía y la planografía, tanto en el campo artístico como en el industrial.

Cuando se trata de aplicar una capa de tinta especialmente gruesa o hay que imprimir sobre un material rugoso, la serigrafía es el sistema ideal. La serigrafía es el único sistema con el que se puede imprimir satisfactoriamente con tinta blanca sobre papel negro. Con la serigrafía casi se puede imprimir sobre cualquier material con cualquier tinta. Diariamente se imprime sobre ropa, cartón, cristal, madera, caucho, plástico, plancha o cerámica, por mencionar algunos de los materiales más importantes. Hay máquinas especiales para imprimir sobre objetos de diferentes formas, como por ejemplo vasos, botellas, bolígrafos o neumáticos.

Pero también los artistas se sirven de la serigrafía para imprimir carteles, envoltorios de libros o estampas en general. El gran éxito que tiene la serigrafía entre los artistas entre otras cosas es debido al hecho de que con una instalación muy rudimentaria se pueden obtener resultados satisfactorios. La serigrafía cada día encuentra más aplicaciones.

La forma de la serigrafía, la pantalla, se tensa sobre un marco que puede tener la apariencia del bastidor de una pintura sobre tela. Es muy

importante que el tejido tenga la tensión correcta y bien distribuida, sobre todo cuando se trata de la impresión de varios colores. Para menesteres industriales hay máquinas de tensar que permiten obtener pantallas perfectamente tensadas.



Serigrafía de Rosa Serra

Diferentes tejidos puede servir para hacer pantallas serigráficas. En la técnica tradicional china las pantallas se tejían con cabello humano, sobre los cuales pegaban trozos de papel de arroz que les servían de reserva, ya que la tinta sólo podía penetrar los espacios de la pantalla en los lugares no ocupados por un trozo de papel de arroz.

Más adelante las pantallas se confeccionaban de seda, material que dio el nombre al procedimiento. A pesar de la buena calidad de las pantallas de seda, hoy se usan casi exclusivamente pantallas a base de materiales sintéticos o de metales.

Una pantalla serigráfica tiene que ser muy permeable a la tinta y por esto la distancia entre los hilos suele ser aproximadamente el doble del grueso del hilo.

Para disponer de una orientación sobre la pantalla, esta a veces se fabrica con hilos de diferentes colores, del mismo espesor y distribuidos regularmente, de manera que se pueda apreciar un dibujo comparable a un papel milimetrado. Esta estructura no se manifiesta en los impresos.

Una misma pantalla serigráfica puede usarse para trabajos diferentes, a condición de limpiarla bien entre los trabajos con los agentes químicos adecuados, que varían según el procedimiento utilizado.

Para imprimir serigrafías hay procedimientos diferentes que van desde el sencillo marco de madera, montado sobre una mesa mediante un par de bisagras, con su rasqueta de madera manual, hasta las grandes máquinas automáticas de la industria. La mayoría de las prensas trabajan con una forma plana, pero también las hay con formas curvadas e incluso hay rotativas de gran rendimiento.

Todas estas prensas trabajan según el mismo principio: la tinta se deposita sobre la trama, al lado opuesto del papel. En el momento de imprimir, la pantalla toca el papel (o el receptor de la tinta) bajo la presión ejercida por la rasqueta, la cual aprieta la tinta de un lado al otro del marco, obligando la tinta a atravesar la malla de la forma en aquellos sitios que no están obstruidos por la reserva.

Hay varias maneras de aplicar una reserva sobre una trama serigráfica. Esencialmente hay dos grupos: las técnicas manuales o artísticas y las fotomecánicas.

Reserva manual

La reserva con papel solo permite tiradas muy cortas, no da líneas muy limpias y generalmente no permite hacer trabajos finos (se pueden obtener efectos buscados por los artistas). La pantalla se entinta ligeramente del lado que tiene que tocar el papel durante la tirada y se pega el papel. Una vez el papel adherido a la pantalla, se arrancan las partes que tienen que quedar blancas. La pantalla ya está lista para la tirada.

Otro procedimiento manual consiste en obstruir parcialmente la malla con cola.

El sistema indirecto permite obtener una pantalla preparada directamente a partir del dibujo. Hay que dibujar sobre la pantalla con tinta grasa o lápiz litográfico. Para simular medios tonos se puede colocar un papel de esmeril bajo la pantalla, cuyo grano se hará visible. Una vez el dibujo seco, un lado de la pantalla se cubre de una cola soluble en agua. Cuando la cola se ha secado se friega la pantalla con gasolina hasta disolver la tinta grasa. La cola adherida a la tinta grasa pierde su soporte y se separa

de la pantalla, mientras que nos queda la cola adherida directamente sobre la malla.

Reserva fotomecánica

En el campo de los sistemas fotográficos de la serigrafía hay que distinguir entre los sistemas directos y los indirectos. En los sistemas directos la pantalla misma es portadora de la capa sensible y se insola directamente bajo un fotolito de líneas o tramado. La emulsión sensible suele ser un coloide bicromatado (pero también hay emulsiones diazoicas o fotopolímeras). Después de la insolación la pantalla se revela hasta que las mallas que tienen que abrirse estén bien limpias.

El mercado ofrece pantallas ya emulsionadas, pero también productos para emulsionar con rodillo, o mejor, con la centrífuga.

Los sistemas indirectos se basan en la copia al carbón, el cual en este caso se transfiere indirectamente sobre la pantalla serigráfica.

El papel de carbón sensibilizado con bicromato de potasio o con amoníaco, se insola bajo un fotolito y se transfiere sobre un plástico. Para esto se moja el papel de carbón y el plástico con agua fría, se comprimen uno contra otro mediante un rodillo duro, y se dejan secar unos minutos.

En un baño de agua caliente se separa el plástico del papel de carbón, y la gelatina se queda pegada en el plástico. La gelatina se revela con agua caliente, hasta que todas las partes no insoladas se hayan disuelto.

La gelatina que se queda adherida sobre el plástico de transporte, después de revelar se transfiere sobre la malla serigráfica.

En el comercio también se encuentran papeles de carbón con soporte transparente que se pueden insolar a través del soporte. Estos papeles permiten evitar la doble transferencia, operación bastante delicada en la práctica.

El sistema indirecto es más aconsejable que el directo cuando importa la finura del trabajo.



La calcografía

Se llaman calcográficos o en hueco los procedimientos de impresión que se basan en la transferencia de la tinta acumulada en los fondos de una superficie en la que se han grabado ahuecamientos. En cierta medida la calcografía es un antagonista a la tipografía dónde precisamente se transfiere la tinta depositada en la superficie de los relieves. En las técnicas calcográficas la profundidad de los surcos que reciben la tinta determina la cantidad de la tinta que se puede depositar y en consecuencia determina la intensidad tonal del área impresa. Al contrario de la tipografía y de la litografía, la calcografía permite pues imprimir áreas de densidad variable, y por tanto auténticas medias tintas.

La calcografía es una herencia de un área de la orfebrería, el **niel**. La palabra italiana '*niello*' proviene de la palabra latina '*nigellum*', negro. La técnica del niel consiste en rellenar los surcos grabados en objetos de metal con una pasta compuesta de una amalgama de plata, cobre, plomo y azufre. Cuando se pule el objeto, el relleno se manifiesta como líneas negras. El nielo es una técnica muy antigua y algunas fuentes hablan de su existencia en Egipto 1.500 años antes de Cristo.

La mayoría de las fuentes citan al nielista florentino *Tomasso* (también *Masso*) *Finiguerra* como el primero que hizo una impresión sobre papel a partir de sus nielos, probablemente con la intención de guardar una muestra de cada uno de sus trabajos. El nacimiento de la calcografía era el momento en que por primera vez se grababan planchas no como fin en si mismo, sino con la intención de imprimir sobre papel.

Rápidamente la calcografía se expandió entre los artistas europeos y se inventaron las diferentes técnicas que permiten elaborar planchas calcográficas. Al principio se usaban diferentes materiales como hierro, cobre, latón o cinc. Actualmente dominan el cobre y el cinc. Para trabajar la plancha se han inventado procedimientos puramente mecánicos, procedimientos químicos y procedimientos fotoquímicos o fotomecánicos, y finalmente, procedimientos electromecánicos y electroquímicos¹.

¹ Nos referimos aquí a la grabación electrolítica, poco usual, que permite un buen control de la profundidad de los surcos.

Supongamos que tenemos una plancha calcográfica a punto de tirar. La plancha, lavada previamente con trementina, se embadurna con una tinta especialmente elaborada para la calcografía de manera que todos los surcos queden bien llenos. Esta operación se efectúa con unos cojinetes de franela conocidos por la palabra francesa 'poupée'. La plancha se puede calentar un poco, para facilitar la licuación de la tinta, la cual no conviene rebajar demasiado, ya que en la siguiente operación, la limpieza de la superficie de la plancha, la tinta contenida en los surcos quedaría absorbida con demasiada facilidad por la gasa. La superficie se friega con unos trapos de gasa, pasando de la calidad más basta hasta la más fina, hasta que quede perfectamente limpia en la superficie y sólo quede la tinta en los surcos. La ilustración esquematiza este proceso.



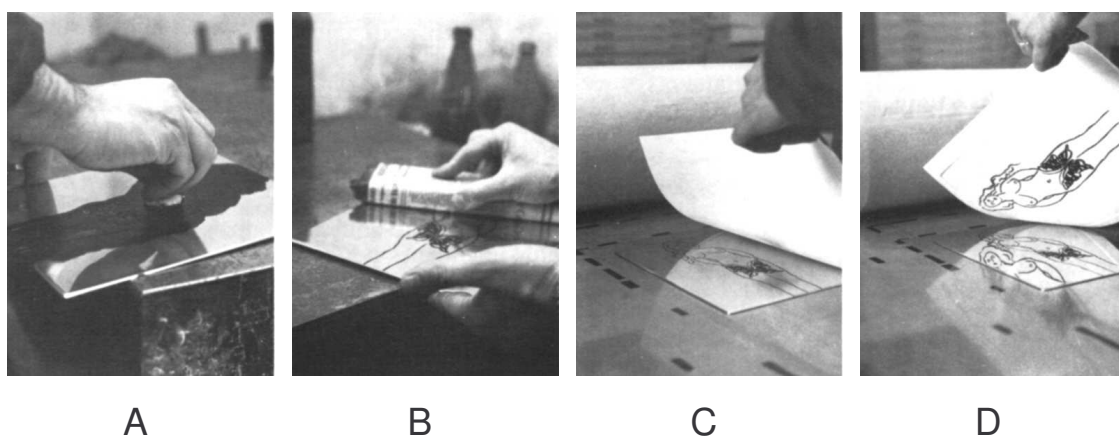
A veces conviene que los blancos de la plancha queden un poco velados, efecto que se puede obtener ensuciando ligeramente la superficie de la plancha con la palma de la mano. Si la plancha se calienta y se friega ligeramente con el trapo de muselina, se puede obtener un efecto de barba de los trazos que puede evocar un grabado a la punta seca, debido a la tinta chupada por la muselina. Los franceses llaman a este efecto '*retroussage*'. Un buen impresor calcográfico no abusa nunca de estos efectos. Si se quieren obtener unos blancos perfectamente limpios se aconseja pasar la mano empolvada de blanco de España sobre la superficie de la plancha. Antes de pasar a la prensa, los márgenes de la plancha se limpian con trementina. También se recomienda fregarlos con tiza. Antes de imprimir conviene calentar ligeramente la plancha para volver más líquida la tinta.

La prensa de la que se derivan todas las prensas calcográficas es el tórculo, el cual consiste esencialmente de una platina que se mueve entre dos cilindros unidos entre ellos por unos engranajes de ruedas dentadas. La presión se puede regular ajustando la posición del cilindro superior. Antiguamente los tórculos se fabricaban de madera, pero hoy se hacen de hierro.

Antes de imprimir la primera prueba se marca la posición exacta de la plancha y del papel sobre la platina de la prensa. El cilindro superior suele estar recubierto de un trapo de fieltro que se desenrollará en el momento de la impresión. El papel, humedecido previamente se deposita

sobre la platina de la máquina en la posición marcada y la platina se mueve en dirección del cilindro hasta que el papel quede atrapado por un lado por debajo del cilindro. Acto seguido se hace pasar la platina por debajo del cilindro, el cual ejerce la presión suficiente para hacer penetrar al papel en los surcos de la plancha, de manera que la tinta queda adherida en su superficie. Muchos artistas renuncian a bloquear el papel con el cilindro y se limitan a ponerlo encima de la plancha. Ahora se puede levantar el papel de un lado sin peligro de perder el registro y la plancha entintada y calentada se pone encima de la platina.

La figura nos ilustra brevemente la impresión a partir de una plancha calcográfica manual.



En la figura A la plancha se entinta. En B se efectúa la última limpieza de la superficie de la plancha; en nuestro caso esta última limpieza se realiza de una forma poco corriente, con un listón de madera recubierto de papel de periódico. En la parte C de la figura el papel se pone sobre la plancha situada ya en la platina del tórculo. Finalmente, en la ilustración D se separa la hoja impresa de la plancha.

Las calcografías manuales se suelen imprimir sobre un papel de hilo muy resistente que se puede mojar antes de la impresión, que aguanta la enorme presión del tórculo y que de otra parte es suficientemente blando para adaptar su superficie a la forma de la plancha grabada. También el papel japonés es muy indicado para la impresión de los grabados.

Había una época en la que el estampado sobre papel chino era muy frecuente. En francés se llama este sistema '*chine appliquée*'. Hoy esta técnica, para la que se adhería un papel chino con las medidas exactas de la imagen sobre un papel de soporte en el mismo momento de pasar por el tórculo, ya no está de moda. El papel chino es un papel muy fino y delgado que hay que cortar al tamaño exacto de la imagen. Antes de sobreponerlo a la plancha se trabaja con una brocha dura que vuelve ásperas sus dos caras. El lado del papel de soporte se trata de la misma

manera. En el momento de hacer la impresión, el papel chino se superpone a la plancha. Debido a la gran presión ejercida por el tórculo, ambos papeles quedan adheridos de tal manera que parecen una sola pieza.

Antes de disponer de prensas calcográficas apropiadas, los primeros grabados se tiraron superponiendo el papel húmedo a la plancha entintada y golpeándolo con una brocha dura hasta que la tinta de los surcos se había transferido sobre la superficie del papel.



Pequeño tórulo de sobremesa

Para grabadores sin tórulo propio hay un sistema de sacar pruebas de estado que con un poco de experiencia permite evaluar bastante bien el resultado que se obtendría imprimiendo la plancha mediante un tórulo. La plancha calcográfica se entinta y se limpia como si se hubiera de imprimir en el tórulo. Acto seguido se tira un poco de colodión sobre la plancha y se deja secar hasta que se forma una película, la cual se puede separar con mucho cuidado, y sobre la que la tinta habrá quedado adherida.

Ya que la plancha calcográfica se desgasta mucho durante la impresión debido a la presión del tórulo y al roce de las gasas, la cantidad de pruebas satisfactorias que se pueden obtener a partir de determinada plancha es limitada, sobretudo en ciertas técnicas particularmente sensibles al desgaste, como por ejemplo la punta seca, la que pocas veces aguanta tiradas de más de 20 o 30 ejemplares sin perder aquel velo misterioso que caracteriza sus trazos.

En el curso de la historia se han desarrollado dos sistemas que permiten alargar la vida de una plancha calcográfica. El primero consiste en grabar sobre material duro como es el acero. Antes de iniciar el trabajo de grabar, la plancha se destempla, de manera que queda relativamente blanda para facilitar la grabación. Y antes de iniciar la tirada definitiva, la plancha se vuelve templar, con lo que recupera su dureza anterior. El

grabado sobre acero o **siderograbado** tiene un papel muy destacado en la ilustración de los libros durante la primera parte del siglo XIX. Alrededor de 1870 empezó a desaparecer, gracias a otro sistema de alargar la vida de las planchas que empezó a divulgarse entonces y que consiste en el recubrimiento de la superficie de las planchas con una capa finísima de un material más duro, al principio hierro, que tenía mucha tendencia a oxidarse, más adelante níquel o cromo, por medios electrolíticos.

Esta técnica conocida por el nombre de acerado, ya se conocía alrededor de 1840, pero su divulgación era muy lenta. La forma más moderna del acerado, el cromado, actualmente es imprescindible en la impresión del huecograbado clásico que describiremos más adelante en este capítulo. Las planchas de cinc no se prestan al acerado.

Cuando se trata de imprimir un gran número de calcografías como en el caso de la impresión de papeles de valor, como sellos de correo, acciones bursátiles o billetes de banco, surge la necesidad de disponer de un gran número de planchas idénticas o al menos casi idénticas. Cuando se imprimen sellos hechos al buril, cosa que desgraciadamente cada vez se hace menos, se suele proceder de la manera siguiente:

La plancha original se confecciona con buril sobre una plancha de cobre o de acero blando. Esta plancha original se endurece, por ejemplo por niquelado si es de cobre o templándola o por cementación si es de acero blando.

A partir de este original único se pueden sacar varios contramoldes presionándolo sobre un cilindro de acero blando. Sobre este cilindro, llamado 'molette' en francés, se obtiene un relieve calcográfico al revés que se parece a un molde tipográfico con la diferencia que la altura de las líneas es variable. Estos cilindros de contramolde se someten a su vez a un procedimiento de endurecimiento.

Finalmente un cilindro de contramolde sirve para calcar su relieve repetidas veces sobre el cilindro que servirá de forma de impresión para un pliego de sellos. Ahora tenemos unos duplicados aproximados del grabado original sobre el cilindro de impresión que a su vez se endurece por temple, para aguantar una larga tirada.

A veces durante todo este proceso se cuela algún pequeño defecto en la forma de imprimir, para gran júbilo de los filatélicos que coleccionan estos sellos con imperfecciones.

Antes de iniciar el trabajo del grabado, hay que preparar la plancha. Esta preparación es la misma para todos los procedimientos calcográficos. Se recomienda biselar la plancha en primer lugar, ya que biselando la plancha ya pulida o incluso ya grabada, como hacen algunos grabadores, se corre el riesgo de estropear al trabajo. El bisel, o la faceta, como

también se llama el margen de las estampaciones calcográficas, se puede hacer con una lima, o mejor con una fresadora mecánica, evitando todo tipo de ángulos que podrían cortar o romper el papel en el momento de la estampación en el tórculo.

La superficie de la plancha tiene que quedar limpia y pulida como un espejo. La superficie del metal se pule primero con papel de esmeril, pasando de la calidad más basta a la más fina. A continuación se friega con blanco de España con un trapo húmedo.

Se recomienda recubrir de una capa de cera delgadísima las planchas preparadas que no van a servir en seguida y se quieran guardar para un trabajo posterior. La cera se aplica sobre la plancha calentada previamente.

Procedimientos mecánicos

Los principales procedimientos manuales mecánicos descritos a continuación son los siguientes: el buril, la punta seca, la manera al lápiz, el puntillado y la manera negra o *mezzo tinto*. Hay que mencionar el hecho de que pocos grabados están elaborados con una sola técnica. Incluso se suelen mezclar técnicas mecánicas con otras químicas y a veces con las fotomecánicas, como el heliograbado.

El buril

El buril es una varilla de acero prismática, provista de un mango en forma de seta de la cual se ha recortado un trozo paralelamente a su eje de simetría, de manera que la varilla puede ocupar un lugar casi horizontal cuando trabaja sobre la plancha. Los buriles se fabrican con secciones diferentes; los hay cuadrados, triangulares o romboidales. Algunos reúnen diferentes puntas en una misma herramienta. Estos últimos se usan especialmente en la xilografía a contrafibra. Hay un dibujo esquemático de un buril en la sección dedicada a la xilografía en el capítulo de la tipografía.

Antes de iniciar un trabajo, el burilista tiene que afilar sus buriles, una labor imprescindible y más difícil de lo que puede parecer.

Luego la plancha se suele cubrir de una fina capa de barniz, que permite dibujar o calcar encima. Muchas veces la plancha se ennegrece con hollín encima de una llama. Recordamos que el dibujo tiene que ser

ejecutado al revés. Los burilistas suelen colocar la plancha sobre un cojín de piel dura que les permite darle vueltas libremente, igual como lo hacen los que graban la madera de boj a contrafibra. El buril se mantiene casi horizontalmente con la mano derecha, de manera que con un dedo de la mano izquierda se puede graduar la presión que ejerce la punta sobre la plancha. El buril separa un hilillo de metal de la superficie de la plancha y deja un surco finísimo, a veces con un poco de barba, la que se elimina con otra herramienta manual, el rascador. La anchura del trazo que deja el buril crece proporcionalmente a la presión ejercida sobre su punta y su profundidad. Las líneas cortadas con buril se caracterizan por sus acabamientos en punta de ambos lados, y éste es el criterio principal que deja distinguirlas de las líneas trazadas mediante otras técnicas, como el aguafuerte o la punta seca.

El buril es una de las técnicas que presentan más dificultades técnicas al ejecutante, y su aprendizaje es largo. A pesar de todo hubo una época en la cual muchos grabadores especializados la dominaban perfectamente y la usaban para todo tipo de encargos, como por ejemplo para retratos o reproducciones de obras famosas. Hacia finales del siglo XIX era usual grabar hasta la letra en la misma plancha calcográfica. Las pruebas de aquella época estampadas antes de grabar el texto se describen con la expresión francesa '*avant la lettre*'.

Como muchas técnicas particularmente difíciles, también el buril ha inducido a algunos artistas a la elaboración de obras cuya finalidad principal era la demostración de un virtuosismo difícilmente imaginable. Este es el caso de la famosa estampa de *Claude Mellan* ejecutada en una sola línea en espiral, que simula todos los medios tonos mediante las variaciones de anchura y de profundidad, como si fuera una autotipia.

La punta seca

Mientras que el trabajo al buril tiene la finalidad de dejar un trazo limpio y sin rebabas sobre la plancha, la punta seca produce unas rebabas pronunciadas sobre la superficie de la plancha, las cuales en el momento de la impresión producen unas finísimas veladuras características del trazo del grabado a la punta seca. La herramienta, la punta seca, es un punzón de acero en forma de aguja, con la cual el artista ralla la plancha. La punta seca no recorta parte del metal como el buril; sólo desplaza al material, un poco como lo hace una arada con la tierra del campo.

A veces se usan las antiguas agujas de fonógrafo fijadas en un mango de madera e incluso hay grabadores que usan puntas de diamante. Las barbas que acompañan los trazos de la punta seca pueden ser unilaterales

cuando la herramienta se inclina de un lado y bilaterales cuando la herramienta trabaja en posición vertical.

Ya que las rebabas se dañan en cada paso por debajo del tórculo, una plancha obtenida de esta manera no aguanta tiradas de más de veinte o treinta ejemplares sin perder calidad. Acerando la plancha se pueden obtener más estampas, pero nunca tantas como a partir de una plancha elaborada al buril.

La manera al lápiz

Para imitar el aspecto de un dibujo al lápiz, la calcografía dispone de dos herramientas conocidas bajo los nombres franceses de **Mattoir** y **Ruleta**. El mattoir es una herramienta en forma de erizo de acero con un mango de madera. Si se trabaja la plancha calcográfica con esta herramienta, se obtiene una estampa que imita la estructura de un dibujo de lápiz. El inventor de esta técnica conocida como **manera al lápiz** era *Jean-Charles François* el cual llegó a imitar dibujos de color y acuarelas con esta técnica.

Basándose en el mattoir, *Gilles Demarteau* inventó la **ruleta**¹, una ruedecita de acero con puntas finísimas, las cuales dejaban la plancha marcada de un modo similar como lo hacía el mattoir. Las ruletas se fabrican en diferentes tamaños y con granulados más o menos finos. Esta herramienta también puede servir para retocar planchas de mezzotinto, de aguatinta e incluso puede servir para el retoque de autotipias sobre fotolito o sobre plancha tipográfica.

Otro sistema consiste en golpear la plancha con un pequeño martillo que tiene una o varias puntas de acero. Esta técnica conocida con el nombre de **grabado puntillado** era muy popular en Inglaterra durante el siglo XVIII, donde el italiano *Bartolozzi* era el representante más brillante de esta técnica.

El mezzotinto o la manera negra

En el terreno de las artes gráficas el mezzotinto, también llamado manera negra o manera inglesa, es la más antigua de todas las técnicas de medio tono. El sistema, tal como lo inventó *Ludwig von Siegen* alrededor de 1641, consiste en pulir las zonas de una plancha totalmente graneada de tal forma que de ello resulten los blancos y los diferentes grises de la

¹ Del francés, roulette.

estampa. Según el sistema de *Siegen*, la plancha se granea con el **graneador**, una herramienta que los franceses llaman **berceau**¹, un utensilio con unos dientes finísimos que hay que pasear varias veces por la superficie de la plancha, cambiando la dirección para evitar que el grano tenga una orientación dominante. Una plancha correctamente graneada tendría que dar un negro perfecto si se imprimiera en este estado. Desde el punto de vista del dibujo, el mezzotinto es un sistema negativo, como la xilografía, ya que se trabaja desde el negro hacia el blanco. Sobre la plancha perfectamente graneada se aplica el dibujo que tiene que interpretarse tonalmente, no linealmente. El **bruñidor** y el **rascador** en sus diversas formas son las principales herramientas manuales que permiten aclarar los tonos entre el negro intenso hasta el blanco puro, pasando por todas las tonalidades de gris. Trabajando con el bruñidor, se van obstruyendo poco a poco los poros abiertos por la acción del graneador.

Para hacer grabados al mezzotinto, no necesariamente el grano tiene que haber sido obtenido con el graneador. La estructura que deja una hoja de papel de esmeril en la plancha si se hace pasar al conjunto por el tórculo puede dar excelentes resultados. Muchas veces este mismo efecto se obtiene haciendo pasar la plancha recubierta con polvo de **carborundo** (Carburo de silicio, SiC, uno de los materiales más duros existentes, poco menos que el mismo diamante) por el tórculo. Se habla de grabado al carborundo.

También puede usarse el grano de aguatinta que se describirá a continuación. Pero hay que tener en cuenta que el trabajo con el bruñidor en este caso es mucho más penoso, ya que en el grano obtenido con el graneador el material solo se desplaza, mientras que en el caso del aguatinta, el material ha sido eliminado.

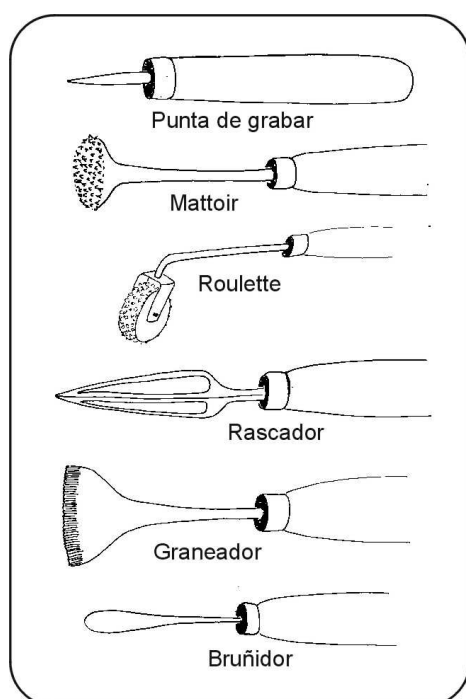
El grabado a la manera negra puede ser retocado con la ruleta, sin que se note la diferencia de grano. La gran época de la manera negra era entre el final del siglo XVII y el principio del siglo XVIII y gozó de gran popularidad especialmente en Inglaterra.

En 1732 *Jacques-Christophe Leblond* usaba el mezzotinto cuando inventó la estampación calcográfica en tres colores, sobreimprimiendo tres planchas entintadas en azul, amarillo y rojo, y en este sentido fue un precursor de la moderna tricromía.

¹ Mecedora.

Procedimientos químicos, el aguafuerte

La planchas grabadas por una reacción química controlada se llaman aguafuertes. Los Árabes de la edad media, en Damasco y en España, ya practicaron esta técnica para adornar las armas. El paso del aguafuerte a la calcografía no se realizó hasta el siglo XVI y no se sabe quien practicó esta técnica por primera vez.



Para controlar la acción de los agentes químicos sobre la plancha se han inventado un gran número de procedimientos. A continuación describiremos los más importantes.

La técnica básica es la siguiente: sobre una plancha pulida como un espejo y fregada con alcohol, acetona y amoníaco, para eliminar toda la grasa, se distribuye una capa fina de barniz, la cual actúa de reserva, impidiendo la acción de los ácidos. Sobre esta capa se aplica el dibujo o el calco, al revés como siempre, y se empieza a reseguir todas las líneas con una punta que arranca el barniz hasta tocar el metal desnudo de la superficie, pero sin rascarlo. También se

pueden usar otras herramientas, como por ejemplo la ruleta o el mattoir.

Muchos grabadores suelen pasar la plancha con la superficie barnizada hacia abajo por encima de la llama de una vela, hasta que se cubre uniformemente de una delgadísima capa de hollín, lo que permitirá apreciar mejor los trazos del dibujo.

Una vez el dibujo raspado, se tapan todos los márgenes y la parte posterior de la plancha con barniz o con asfalto. Luego la plancha se sumerge en una bandeja llena de ácidos, hasta que las líneas se hayan ahondado lo suficiente. Durante el tiempo de sumersión hay que quitar con una pluma de ave, un pincel muy suave o una herramienta similar las burbujas que se forman encima de la plancha debido a la reacción química.

La plancha ahora se lava con agua, se le quita el barniz con un disolvente y ya se puede tirar una prueba.

Hay diferentes tipos de barniz usados en las técnicas al aguafuerte. El barniz líquido se aplica con pincel o mediante una centrífuga. El sólido o de bola se reparte sobre la plancha caliente, para que se funda, normalmente envuelto en un trapo fino. Hay un barniz blanco que permite apreciar las líneas ya grabadas y hay otro que se aplica sobre la plancha mediante un rodillo de cuero, de tal manera que los trazos ya grabados no queden cubiertos de barniz. Este último barniz, conocido como **barniz de corrección** permite aumentar la profundidad de los surcos de un grabado del cual ya se han tirado algunas pruebas. Además de estos barnices duros, que pueden estar compuestos de cera, almáciga, asfalto y diferentes resinas¹, también hay los barnices blandos que se caracterizan por un contenido bastante elevado en grasas animales y cuya aplicación se comentará más adelante.

Los principales agentes químicos que se usan para morder las planchas de calcografía son el ácido nítrico y el percloruro de hierro (FeCl_3). El ácido nítrico actúa deprisa, de manera irregular y caprichosa, mientras que el percloruro trabaja muy lentamente, con gran precisión y deja unas líneas limpias, a veces un poco frías. Los grabadores famosos solían tener sus propias recetas, en las que a veces encontramos también el ácido acético, el ácido clorhídrico o la sal común. Como ejemplo mencionaremos aquí una receta atribuida a *Piranesi*:

80 g	agua
40 g	vinagre fuerte
20 g	sulfato de cobre
20 g	sal amoniacal
20 g	sal común
5 g	alumbre

Normalmente un grabado al aguafuerte no se realiza en un único proceso de mordido. Una de las propiedades fundamentales de la calcografía es el hecho de que dos líneas del mismo grosor no necesariamente tienen que imprimirse con la misma intensidad, ya que según la profundidad del surco pueden coger más o menos tinta. Si la plancha se da por acabada después de una única sesión de mordido, se está renunciando a esta valiosa propiedad que permite imprimir simultáneamente líneas oscuras y delgadas y otras, anchas y claras. Uno de los primeros grabadores que se percataron de este hecho y que lo sabía explotar mediante múltiples baños de ácido era el grabador francés

¹ Muchos grabadores actuales usan pintura al barniz sintético.

Jacques Callot. Usando múltiples mordidos se le ofrecen al grabador esencialmente dos esquemas de trabajo:

En el primer sistema, todas las líneas del dibujo se crean a la vez. Después de un primer mordido, todas las líneas que tienen que imprimir en este primer tono clarito se protegen con asfalto. Después del segundo mordido se procede análogamente con las líneas que corresponden al segundo nivel de intensidad. Se reitera este procedimiento hasta obtener las líneas de máxima profundidad.

En el segundo sistema, primero se dibujan las líneas que representan los tonos más oscuros del dibujo y se hace un primer mordido. Luego se graban las líneas del segundo nivel y se da un segundo mordido, sin antes tapar las líneas del primer nivel, que se irán hundiendo un poco más. En la última fase se dibujan las líneas más tenues y se les aplica un mordido corto.

Evidentemente las planchas del aguafuerte pueden ser retocadas con las herramientas del grabado mecánico, como el buril o la ruleta.

En los procedimientos químicos los baños de ácido se pueden substituir por baños electrolíticos. Estos procedimientos galvanocáusticos permiten un control muy exacto del trabajo.

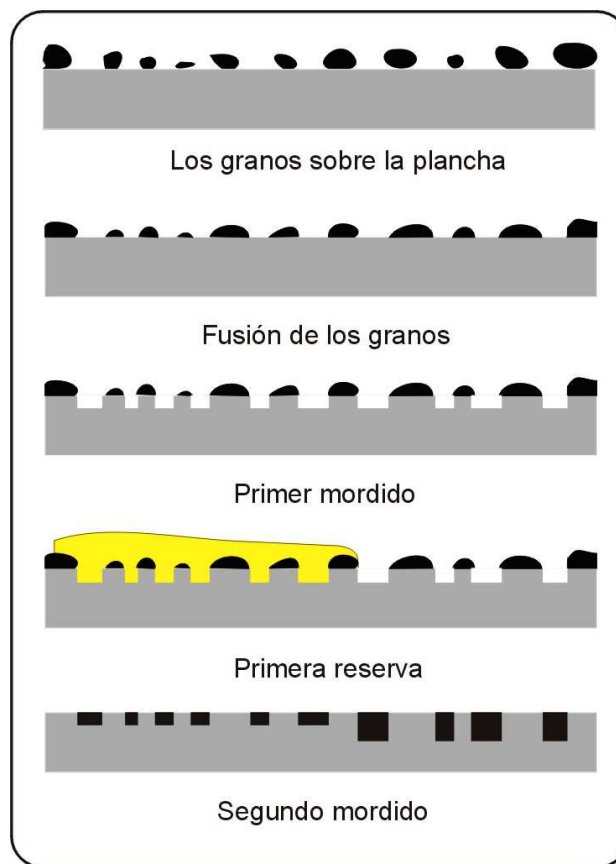
El aguatinta

El procedimiento al aguatinta es un procedimiento exclusivamente tonal, no un procedimiento de líneas. La estructura o trama que origina los diferentes tonos de gris se puede obtener de diferentes maneras. La invención se atribuye a *Jean-Baptiste Le Prince*. El aguatinta usualmente no se emplea solo, sino normalmente en combinación con el aguafuerte de líneas que acabamos de describir.

El grano de aguatinta clásico es el de resina o de asfalto que se deposita sobre la superficie de la plancha en la caja de resinas. La caja de resinas es una caja de madera que tiene una apertura en su parte baja que permite introducir la plancha que se trata de granear. Las cajas de gran tamaño incorporan un sistema de ventilación, como de una mancha o una hélice movida por una manivela, para levantar el polvo de resina que se encuentra en el fondo de la caja. Las cajas pequeñas no suelen disponer de ningún sistema de ventilación y sencillamente se les da la vuelta para levantar el polvo. Se recomienda que las paredes laterales de la caja sean bien lisas, ya que se podría acumular polvo que podría caer en un momento inoportuno.

Para granear una plancha en la caja, primero hay que introducir un poco de polvo de resina (la colofonia es la opción más clásica) o de

asfalto, cerrarla y accionar el sistema de ventilación o darle la vuelta a la caja. Una vez el aire dentro de la caja bien saturado de polvo, se espera cierto tiempo, hasta que las partículas más grandes se hayan depositado en el suelo. Cuando más tiempo se espera, más fino será el grano que queda en suspensión en el aire de la caja. Al cabo de un tiempo que el grabador determina empíricamente la plancha se introduce por la ranura y se espera que se haya depositado una cantidad suficiente de polvo en la superficie de la plancha. Ahora la plancha se saca de la caja con mucho cuidado para evitar que los granitos se muevan. Luego la plancha se calienta por debajo hasta que los granitos se funden y queden adheridos a la superficie metálica.



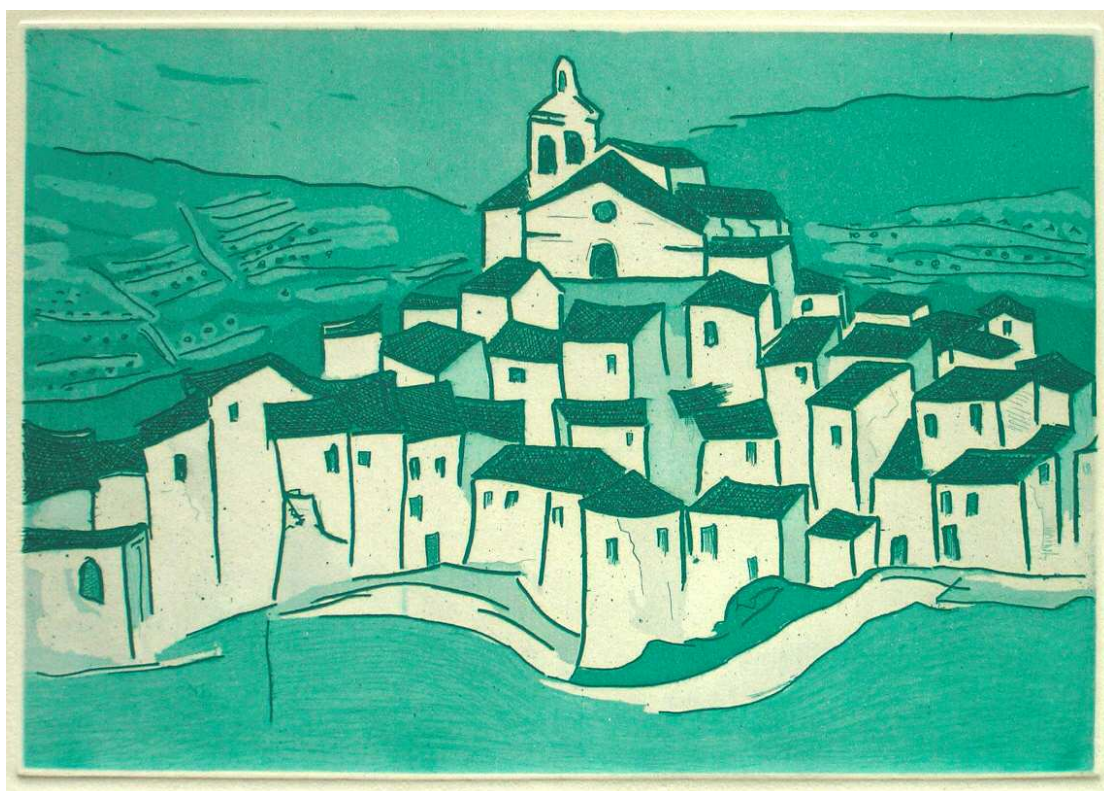
El grano del aguatinta

Sobre esta plancha se pintan las reservas de las zonas que tienen que quedar blancas en la estampa final. Ahora se expone la plancha a los ácidos. Al cabo de poco rato se saca la plancha del baño, se enjuaga y se deja secar.

Ahora se tapan las partes que tienen que quedar gris claras, se vuelve a morder la plancha, se enjuaga y se seca. Este procedimiento se repite hasta llegar a los negros intensos.

Nuestro dibujo esquemático enseña como se obtienen los diferentes medios tonos.

Esta manera clásica de obtener un grano de aguainta no es la única posible, pero es la más usual. a continuación vamos a presentar brevemente los sistemas más usuales.



Aguatinta de Miquel Plana

Procedimiento al aerosol

Muchos artistas granean sus planchas con un aerosol de pintura que deja la plancha recubierta de finísimas gotitas de pintura.

En el grabado reproducido bajo el título 'Aguatinta de Miquel Plana' se puede apreciar un aguafuerte inspirado en el pueblo de Cadaqués. El mar, el paisaje y el cielo se han elaborado con la técnica del aguainta.

Procedimiento a la arena

Se puede obtener un grano que se presta bien al aguatinta haciendo pasar una plancha recubierta con un barniz de reserva por el tórculo conjuntamente con una hoja de papel de esmeril. A veces hay que reiterar la operación, variando ligeramente la posición entre el papel de lija y la plancha en las diferentes pasadas bajo el tórculo. Los finos granos de esmeril o de arena arrancan el barniz en los sitios donde penetran hasta el nivel de la plancha.

Si comparamos las estructuras de una aguatinta clásica con la de una aguatinta al grano de esmeril, notaremos una diferencia fundamental: en el primer caso imprimimos líneas que envuelven los puntos creados por las gotas de resina, mientras que en el caso del aguatinta al esmeril imprimimos puntos correspondientes a los granos de arena que arrancaron el barniz de reserva de la superficie de la plancha. La estructura del procedimiento a la arena es la versión negativa del aguatinta clásica.

Procedimiento al alcohol

Ciertas soluciones de resinas en alcohol tienen la propiedad de formar una superficie sobre la plancha que se agrieta durante el secado. Esta estructura irregular de finísimas grietas se conoce bajo el nombre francés de **craquelé**. Una plancha de cobre preparada con una capa de barniz agrietada se puede trabajar en manera de aguatinta. La estructura hace pensar en una especie de malla y puede tener un aspecto muy artístico, si no se abusa del recurso. Era una técnica muy usada en el siglo XVIII.

Procedimiento al azufre

Una artística manera de obtener un ligero graneado parcial consiste en pintar las zonas que se quieren granear con aceite de oliva. Luego se espolvorea la plancha con polvo fino de azufre. Los granitos de azufre que atraviesan el aceite y llegan a tocar la superficie de la plancha inician una reacción química que se traduce en un pequeño orificio en el cobre. El conjunto de los orificios forma la estructura deseada. Otra técnica consiste en aplicar directamente una mezcla de aceite y de azufre sobre la plancha mediante un pincel.

Finalmente hay que disolver al aceite sin ensuciar las partes circundantes de la plancha. Este procedimiento funciona con aceite de oliva y

con planchas de cobre. Con planchas de cinc no se puede aplicar esta técnica.

Procedimiento a la sal

También con sal (o con azúcar) se puede obtener un grano de agua-tinta, procediendo de la manera siguiente: Una plancha recubierta de una finísima capa de barniz protector se calienta hasta que el barniz se vuelva líquido. Se distribuye sal fina sobre la superficie. Una vez fría, la plancha se sumerge en agua fría, hasta que los granitos de sal, que habían penetrado en la capa de reserva gracias a su peso específico superior, se fundan en el agua y dejen la plancha al descubierto en el sitio donde tocaban la plancha, lo que desprotege al metal en aquellos puntos.

Procedimiento al azúcar

Este procedimiento fue inventado al principio del siglo XVII por el grabador holandés *Hercules Seghers* y fue redescubierto en el siglo XIX por *Gainsborough* y otros artistas. Se puede considerar el procedimiento al azúcar un procedimiento positivo, ya que las partes recubiertas se imprimen más oscuro que las otras.

Este es el procedimiento: sobre la plancha previamente graneada con resinas se dibuja con una mezcla de tinta china y azúcar. Una vez que se haya secado perfectamente el dibujo, se recubre la plancha de una delgada capa de barniz de reserva. Luego se la sumerge en agua hasta que las partes de la reserva que se han aplicado encima del dibujo pierden su soporte y se desprenden. Efectivamente, en la práctica el barniz de la reserva no es del todo impermeable, por lo que la mezcla de azúcar y de tinta china se va hinchando de agua. Ahora la plancha se puede someter a los efectos de los ácidos.

El grabado al barniz blando

La ruleta imita la estructura del trazo al lápiz, tanto en el caso de aplicarse directamente sobre la plancha como en el otro caso de aplicarse sobre una plancha barnizada para hacer un aguafuerte. A principios del siglo XVII, el grabador *Dietrich Meyer* inventó otro sistema para imitar al lápiz en calcografía: el procedimiento al barniz blando. El barniz que da

el nombre al procedimiento se obtiene añadiendo un poco de grasa al barniz de bola corriente.

Sobre la plancha recubierta de barniz blando se coloca un papel de grano, de manera que su posición en relación a la plancha sea invariable, por ejemplo fijándolo por detrás con cinta adhesiva. Cuando se dibuja sobre este papel, el barniz se adhiere al papel en los sitios sometidos a la presión y se separa del metal cuando se separa el papel de la plancha. Después del mordido las líneas adoptan el grano del papel. Se pueden hacer calcos diferentes sobre la misma plancha con papeles de grano más o menos fino. Tres grandes maestros de esta técnica fueron *Thomas Gainsborough*, *William Turner* y sobretodo *Félicien Rops*.

Aquí conviene insistir en el hecho de que las diferentes técnicas calcográficas sólo en contadas ocasiones se aplican en estado puro, ya que la mayoría de los grabadores prefieren mezclarlas.

El gofrado

En las técnicas calcográficas manuales la estampación está acompañada por una deformación permanente de la superficie del papel característica y noble. Esta deformación a veces se exagera artificialmente y hay incluso casos en los cuales es la finalidad exclusiva y en los cuales se renuncia al uso de la tinta, limitándose a producir relieves sobre la superficie del papel, que en estos casos reciben el nombre de gofrados. El gofrado es una forma transitoria entre las artes gráficas y la escultura. Uno de los iniciadores de este movimiento es *Étienne Hajdu*, quién empezó a practicar esta técnica entre las dos Guerras Mundiales.

Procedimientos fotomecánicos

El heliograbado

Entre todos los procedimientos fotomecánicos, el heliograbado es el que tiene el carácter más artístico. El heliograbado clásico está basado en el principio de la cola bicromatada y del aguatinta y sus planchas, una vez aceradas, se imprimen en el tórculo manual, igual que las aguatinas artísticas. El heliograbado trabaja con un grano de aguatinta finísimo y se retoca con las herramientas manuales de la calcografía, como el buril, la punta seca, la ruleta o el bruñidor.

El rotograbado industrial, también llamado heliograbado rotativo es un derivado del heliograbado clásico. Ya los primeros pioneros de la fotografía intentaron encontrar una técnica que permitiera obtener una plancha calcográfica a partir de un original fotográfico de una manera estandarizada, sin la intervención del dibujo humano. Un grabado de estas características se llama heliograbado. Ya habíamos citado, en el capítulo dedicado a la fotografía, un intento en esta dirección realizada por *Daguerre*, en colaboración con *Fizeau* y *Brévière*, que fracasó.

Paul Pretsch inventó en 1854 una especie de heliograbado que él mismo llamó **fotogalvanografía** y que fue el origen de toda una sucesión de técnicas, de las cuales ninguna sobrevivió al invento de la autotipia de *Meisenbach* en 1882. El procedimiento de *Pretsch* era aproximadamente el siguiente: De una plancha emulsionada con una mezcla de yoduro potásico, nitrato de plata, cola y gelatina bicromatada, insolada y revelada con agua se sacó un contramolde sobre un material flexible por galvanoplastia. De este contramolde se sacó otro contramolde sobre la plancha de cobre de la tirada. El sistema se basa en las fisuras que se forman en la gelatina bicromatada, cuya anchura y profundidad varía en función de la cantidad de luz recibida durante la insolación. Los impresos con esta técnica presentan el característico grano de la fototipia.

En aquella época en diferentes talleres se ejercían muchos derivados de la técnica de *Pretsch*, normalmente guardando celosamente el secreto de elaboración. Ninguno de estos procedimientos ha tenido mucho éxito, debido a las grandes dificultades prácticas que caracterizaban estas técnicas.

Entonces *Talbot* tuvo una idea decisiva, y en 1858 patentó un sistema de heliograbado basado en la fotosensibilidad de la gelatina bicromatada y el grano del aguatinta. El principio de este invento de *Talbot* era ya el mismo que más adelante fue introducido por *Klič*, pero este último

substituyó la capa de gelatina bicromatada por el papel de pigmento. *Talbot* inventó el sistema siguiente:

La plancha se emulsionó con gelatina bicromatada, se secó, se insoló bajo un positivo de tono continuo y se reveló con agua caliente como en el procedimiento a la goma. Una vez seca, la plancha se proveía de una capa de polvo asfáltico en la caja de resinas. Estos granitos de resina se hicieron fundir mediante una cuidadosa aplicación de calor, sin destruir la gelatina. Finalmente la plancha se mordió con soluciones de percloruro de hierro en diferentes concentraciones de entre 30 y 40° Baumé.

Un sistema mejorado se obtenía si se graneaba la plancha antes de la aplicación del bicromato. Para obtener una reproducción aceptable, había que reiterar el procedimiento tres o cuatro veces, como en el caso del procedimiento a la goma, usando siempre el mismo positivo de medio tono en registro riguroso. El primer grano de aguatinta se conservaba para las diferentes fases del proceso.

En 1879 el pintor y grabador vienés *Karel Klič*¹ dio la forma definitiva al heliograbado. El procedimiento de *Klič* es el siguiente: La plancha de cobre pulida como un espejo se limpia con blanco de España, alcohol y amoníaco. Una vez seco se le granea con asfalto en la caja de resinas. Luego se funde el grano encima de una fuente de calor. Hasta aquí es el procedimiento habitual del aguatinta. La delgadísima capa de óxido que se ha formado bajo la influencia del calor se elimina con una mezcla de una solución de ácido acético con una cucharilla de sal común por cada 100 cm³. Se hace una copia de contacto sobre un papel de pigmento desde una diapositiva de medio tono. Este papel de pigmento se transfiere sobre la plancha graneada como si se tratara de un papel de transferencia. Una vez que se haya desprendido el soporte del papel en el baño de agua y que la gelatina haya quedado adherida a la plancha, la imagen se revela con agua templada que disuelve más o menos la gelatina, según su grado de insolación. Si en esta fase se somete la plancha a la acción de una solución de percloruro de hierro, esta tiene más facilidades para atravesar las capas delgadas de gelatina endurecida, que corresponden a los negros de la futura imagen, que las gruesas, así que en las zonas poco insoladas muerde la plancha a más profundidad que en las otras.

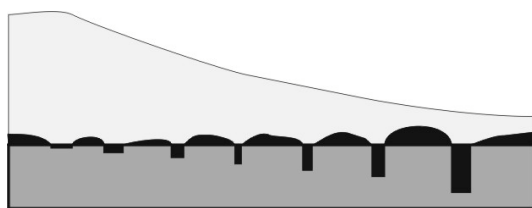
La gelatina es más permeable para las soluciones débiles de percloruro que para las fuertes. Se suele morder la plancha por etapas, empezando con percloruro de una concentración de unos 40° Baumé. La plancha permanece en este primer baño hasta que se hayan mordido las partes más oscuras. Se puede observar el efecto del ácido a través de la gelatina, ya que las zonas grabadas se vuelven negras. Los baños sucesivos se van

¹ También se encuentra la grafía 'Karl Klietsch'.

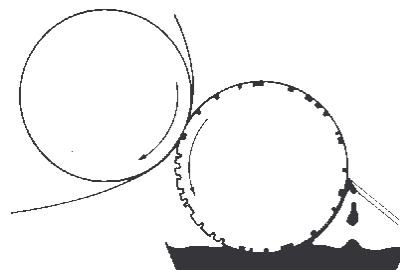
rebajando cada vez más, hasta llegar a unos 30° Baumé. Después de este último baño la plancha se enjuaga en agua muy caliente hasta que se desprende toda la capa de gelatina. Luego los granitos de asfalto se eliminan con trementina y se limpia la plancha. Después de imprimir las primeras pruebas, muchas veces la plancha tiene que ser retocada. Después de los retoques se puede acerar la plancha.

El rotograbado

El rotograbado es una adaptación industrial del heliograbado a las necesidades de las grandes empresas. Si se trata de imprimir grandes tiradas el tórculo manual se hace obsoleto, ya que no se pueden imprimir con él más de 5 o 10 ejemplares por hora. En la segunda mitad del siglo XIX se empezaron a construir tórculos automáticos que hasta cierto punto podían realizar la labor del impresor manual. La primera máquina de este tipo fue presentada en la Exposición Universal de París de 1867. Se trataba de una construcción de *Jules Derriey*. Esta prensa no imprimía a partir de una plancha plana, sino a partir de una plancha curvada en forma cilíndrica. La parte inferior del cilindro rotativo estaba sumergida en una cubeta con tinta líquida. Antes de llegar al cilindro de contrapresión una rasqueta se llevaba la tinta sobrante de la superficie de la plancha, para que volviera a caer en la cubeta. Este ya es el principio de la moderna prensa de rotograbado, ilustrado por nuestra figura 'Rotograbado'.



Heliograbado

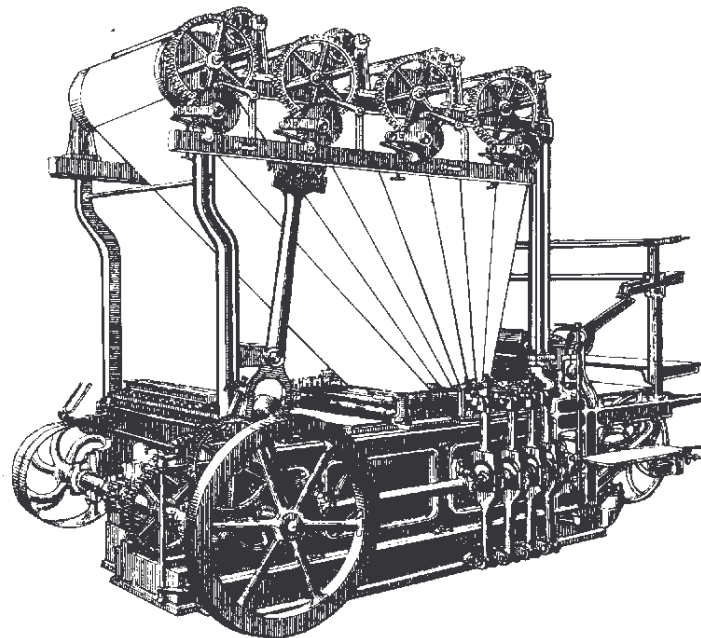


Rotograbado

En 1880 *Marinoni* construyó una máquina que permitía imprimir a partir de planchas planas calcográficas. En esta máquina, representada en la figura 6, la plancha se movía horizontalmente, pasando sucesivamente por debajo de unos rodillos entintadores, unas cintas de muselina que limpiaban la superficie de la plancha y finalmente bajo el cilindro de presión, donde imprimía sobre el papel ligeramente húmedo. Los trapos de muselina se mueven ligeramente después de cada impreso, de manera que cada plancha se limpiaba con un trozo de tela limpia. Según el

tamaño de la plancha esta máquina permitía la impresión de unos 800 ejemplares por hora. En aquella época este tipo de máquinas se fabricaron en diferentes fábricas europeas. Unas prensas similares todavía hoy se usan para la impresión de papeles de valor.

Estas máquinas no dan la calidad artística exigida por los grabadores manuales. Pero tampoco permite imprimir grandes tamaños como los que exigen los trabajos industriales. Y el grano de aguatinta propio de los heliograbados no se presta a la limpieza automatizada de las planchas. La solución para la industria es la siguiente: Los puntos irregulares del aguatinta que no se hunden bajo la acción de los ácidos se substituyen por una red regular de líneas cruzadas que presta un soporte adecuado al dispositivo de limpieza automático. En el rotograbado industrial la ropa que limpia la superficie de la plancha se substituye por una rasqueta de acero, como la que ya usó *Derriey* en 1867. La pancha plana se substituye por un cilindro de acero recubierto de una capa de cobre. Cualquier punto del cilindro primero se hunde en una cubeta con tinta líquida y luego pasa por debajo de la rasqueta que elimina la tinta de la superficie y la devuelve a la cubeta. Finalmente la tinta acumulada en los huecos se transfiere sobre el papel en el momento de pasar por debajo del cilindro de contrapresión.



Prensa calcográfica automática de Marinoni

A continuación describiremos brevemente la elaboración de un cilindro de rotograbado tradicional. Como veremos luego, hay otros sistemas.

Las diapositivas de medio tono que se emplean se pegan sobre una hoja de montaje (Astralón), al revés, como en los montajes para offset, pero con la diferencia que aquí no se usan fotografías de líneas y tramadas sino fotografías de líneas y de medio tono. Las diapositivas de medio tono se obtienen por copia por contacto de negativos de medio tono al revés.

El papel de pigmento se sensibiliza en un baño de bicromato de potasio o en una solución de otro bicromato. Una vez seco, se insola en contacto con la trama, sin original alguno. La trama utilizada tiene una estructura de líneas blancas cruzadas bajo un ángulo de 90° sobre un fondo negro. La copia sobre el papel de pigmento crea en este una estructura de gelatina endurecida que formará más adelante el soporte de la rasqueta limpiadora. El interior de las células cuadradas no se altera por esta primera exposición. En algunos casos especiales también se usan tramas de formas diferentes, pero su función siempre es la misma.

Ahora se efectúa la segunda exposición, para la que se pone la hoja de montaje en contacto con el papel de pigmento. Aquí los cuadrados que han quedado entre las líneas se endurecen más o menos, según la exposición de cada zona.

Después de esta segunda exposición el papel de pigmento se moja y se aplica sobre el cilindro impresor, previamente limpiado con ácido acético o con ácido fórmico. La aplicación de la hoja de montaje sobre el cilindro de impresión está facilitada por las perforaciones de registro que acompañan el trabajo desde el montaje hasta la rotativa. La aplicación se efectúa en una máquina especial donde el pesado cilindro se puede girar libremente. Una vez aplicado el papel de carbón sobre el cilindro, este se sumerge en agua donde primero se desprende el papel de pigmento y luego se revela con agua templada la capa de gelatina que ha quedado adherida a la superficie metálica. Se prolonga el revelado hasta que la gelatina sin insolar se ha disuelto enteramente, igual como se hace en el heliograbado.

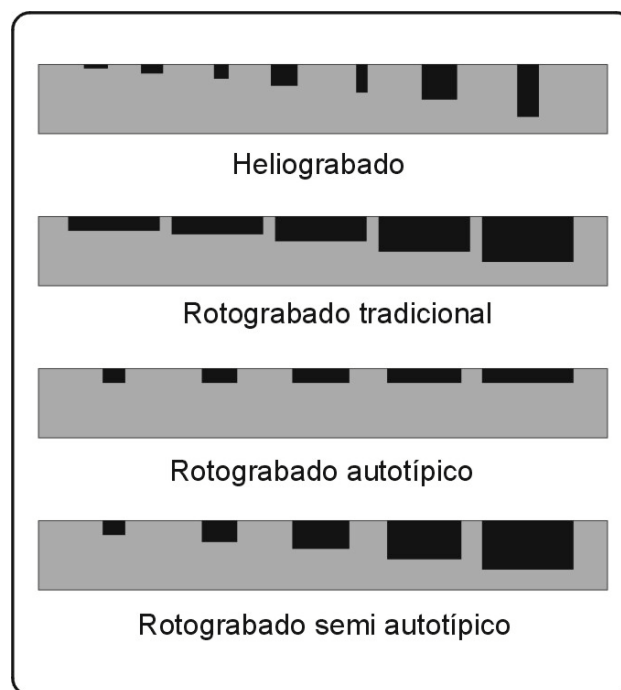
Ahora el cilindro se introduce en la máquina de grabar con ácido. Aquí también el cilindro se puede mover libremente alrededor de su eje. Antes del mordido, el operario tiene que proteger con barniz asfáltico todas las zonas del cilindro que no tienen que someterse al efecto del ácido. Ahora es el momento de tapar las manchas en las zonas blancas, como por ejemplo las sombras de los cortes del montaje.

En la periferia de la zona de impresión durante el montaje se habían montado unas cuñas de control que ahora van a facilitar el control del mordido. Ahora el operario pone el cilindro a girar despacio sobre su eje, mientras la cuba se llena de una solución de percloruro de hierro que primero se aplica en su máxima concentración de unos 40° Baumé. El

giro constante del cilindro garantiza un mordido compensado de todas las zonas del cilindro. En el momento adecuado se interrumpe el mordido con agua fría abundante y la concentración del percloruro de hierro se rebaja. Como en el caso del heliograbado se aplican diferentes concentraciones hasta llegar a los 30° Baumé, aproximadamente. El operario puede influenciar el mordido de determinadas zonas, tanto añadiendo percloruro de hierro en algunas zonas con un algodón, como tapando ciertas zonas con barniz asfáltico.

Después del último mordido el cilindro se lava en agua abundante, el barniz asfáltico se disuelve mediante un disolvente adecuado y la gelatina se elimina con ácido clorhídrico rebajado. Finalmente el cilindro perfectamente limpio se recubre de una capa de cromo en un baño electrolítico.

Además de este procedimiento clásico, cuyas células de trama son variables en profundidad, pero no en superficie, hay dos sistemas más: el rotograbado autotípico que se caracteriza por sus puntos de trama variables y el semi-autotípico que reúne la variación de tamaño con la de profundidad. Llámase también huecograbado combinado a este último sistema.



Diferentes sistemas de huecograbado

El sistema autotípico tiene dos ventajas sobre el tradicional: el mordido de los cilindros es más fácil y se pueden obtener tiradas más largas sin pérdida significativa de calidad. Estos hechos se deben a la mayor

profundidad de mordido de las celdas que corresponde aproximadamente a la máxima profundidad del sistema tradicional. Pero el contraste de tonos de este sistema no supera el que se obtiene con otros sistemas autotípicos, como el offset. El huecogrado autotípico se usa mucho en el campo de la impresión textil y del embalaje.

El sistema combinado reúne las ventajas de los dos sistemas anteriores. Ya que aquí se pueden morder las celdillas de los grises más claros a mayor profundidad que en el procedimiento tradicional, el desgaste del cilindro no implica tantas diferencias tonales que en el sistema tradicional. El mordido con percloruro de hierro aquí también es más fácil que en el sistema tradicional.

La mayoría de los sistemas combinados se basan en la copia sucesiva sobre el papel de pigmento de una diapositiva tramada con una trama especial y de una diapositiva de medio tono, manteniendo un riguroso registro. Este papel de pigmento luego se somete a las mismas manipulaciones como en el caso del sistema tradicional.

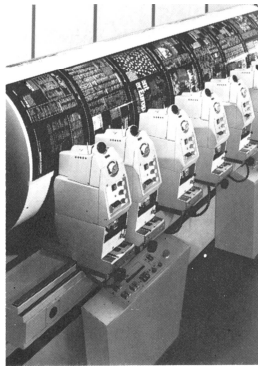
El esquema 'Diferentes sistemas de huecogrado' representa los puntos de trama del heliogrado con grano de aguainta, del rotogrado tradicional, autotípico y semi-autotípico.

Grabación electromecánica

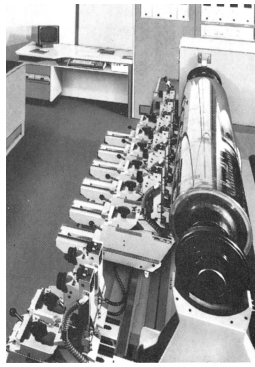
En el último cuarto del siglo XX se creó una técnica totalmente nueva para confeccionar cilindros de huecogrado, la grabación electromecánica con un scanner, como por ejemplo el *Helioklischograph* K 202 de la empresa Hell. Llamaremos **scanner**, en el sentido más amplio de la palabra, a una máquina que recorre sistemáticamente una imagen grabando la información sobre un soporte informático para luego transferirla electrónicamente a otra máquina. Hay scanners planos y rotativos. La pieza antagonista de un scanner es un **plotter**, que a su vez recorre sistemáticamente una superficie plana o cilíndrica y la altera (cortando, dibujando, iluminando) según los datos que se le han suministrado. La palabra 'scanner' proviene del Inglés y se puede traducir aproximadamente como 'palpador'. Los cabezales de los scanners cilíndricos se mueven sobre una espiral alrededor del cilindro y su movimiento se puede comparar a un torno que está cortando una rosca.

Las primeras máquinas de la historia que se pueden llamar scanners son los primeros telégrafos pictóricos como por ejemplo la máquina de *Caselli* del año 1855, la de *Tschörner* o la de *Bélin*, entre otras. La primera sólo permitía la transferencia de dibujos lineales, las otras dos también podían transmitir imágenes de medio tono. El dibujo de salida de la máquina de *Tschörner* era una especie de autotipia. En el último cuarto

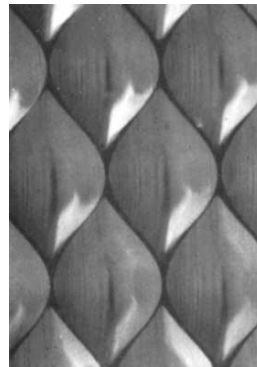
del siglo XX en el campo de las artes gráficas los scanners electrónicos empezaron a desbancar las tradicionales técnicas fotomecánicas.



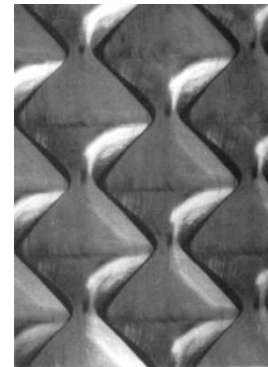
Scanner



Unidad grabadora



Puntos alargados



Puntos comprimidos

El *Helioklischograph* de la empresa *Hell* es un equipo que elabora cilindros de huecograbado de alta calidad con estructura variable en extensión y en profundidad. Se pueden apreciar dos vistas sobre este equipo en las dos ilustraciones 'Scanner' y 'Unidad grabadora'. La casa *Hell* tuvo la amabilidad de facilitarnos estas ilustraciones.

El funcionamiento es el siguiente: Sobre el cilindro de lectura (figura 'Scanner') se montan los negativos mates de tono continuo y los negativos de línea. Una vez el montaje colocado en su sitio, el cilindro de lectura y el de grabación (figura 'Unidad grabadora') empiezan a dar vueltas. Los cabezales de lectura van explorando punto por punto el montaje, midiendo los valores densitométricos. Los datos recogidos de esta manera se manipulan electrónicamente y transformados en datos digitales, se envían a la unidad central. Desde allí se envían las órdenes digitales a los cabezales de grabación, los cuales graban punto por punto la trama de huecograbado en la superficie del cilindro mediante una punta de diamante de gran precisión. De esta manera cada cabezal de grabación genera la increíble cantidad de 4.000 huecos por segundo. Aquí hay que decir que los agujeros usados en huecograbado son extremadamente pequeños y poco profundos. La distancia entre sus centros es del orden de una décima de milímetro y la profundidad suele variar entre 2 y 50 milésimas de milímetro.

La impresión del rotograbado semiautotípico en color generalmente está sometida a un efecto desagradable de variación del color que se debe a las diferencias tonales que hay entre la sobreimpresión de los puntos correspondiente a las diferentes tintas y su impresión colateral. Estas variaciones son particularmente notables cuando los puntos de las diferentes tintas tienen la misma forma. Las máquinas de la casa *Hell* permiten contrarrestar este efecto por la posibilidad de variar la forma de

los puntos de las cuatro tintas. Esta variación de forma cambia la lineatura de la trama en una dirección e imita el efecto obtenido por la angulación de las tramas que se utilizan en cromolitografía y en cromotipografía para evitar los efectos de moiré. Recordemos que el rotograbado no permite estas angulaciones de las tramas, ya que la diagonal de las alvéolas tiene que ser perpendicular a la rasqueta. Las figuras 'Puntos alargados' y 'Puntos comprimidos' enseñan dos formas de puntos obtenidas con una máquina *Helioklischograph*.

Actualmente la mayoría de las imprentas de huecograbado trabajan con grabación electromecánica y hay una concurrencia dura entre los diferentes fabricantes de máquinas grabadoras. Pero lo que *Hell* no consiguió lo ha realizado la empresa suiza *Daetwyler*: la grabación con rayo LASER de los cilindros de rotograbado. El sistema *Laserstar* de la empresa *Daetwyler* actualmente permite grabar hasta 140.000 alvéolas por segundo por cabezal. Un aspirador elimina constantemente el metal evaporado. Actualmente (2006) *Laserstar* es de los sistemas más rápidos del mundo. No sólo se pueden obtener alvéolas tradicionales y semi-autotípicas, se pueden producir incluso tramas FM. Ya que el rayo LASER no tiene desgaste, la uniformidad en la producción está garantizada.

El color

La naturaleza del color

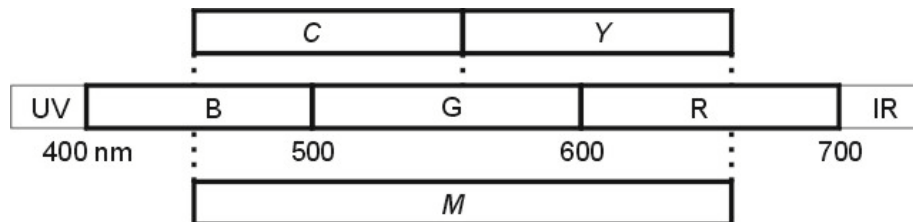
La luz visible del día se compone de radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda comprendidas entre 400 y 700 nm¹ aproximadamente. Las otras radiaciones son invisibles. La luz blanca del día es una de las posibles combinaciones de radiaciones luminosas. Ya *Isaac Newton* descompuso un rayo de luz solar mediante un prisma. Ya que el coeficiente de refracción de la luz varia de manera continua con la longitud de onda, el prisma de Newton proyectaba un espectro solar continuo, como el arco iris que todos conocemos, que iba desde el violeta (400 nm) al rojo (700 nm), pasando por las regiones del azul, del verde, del amarillo y del naranja. Newton también comprobó que la superficie de un disco con sectores coloreados en azul, verde y rojo nos parecía gris cuando el disco giraba lo bastante rápido para que ya no pudiéramos distinguir los sectores.

¿Cual es el mecanismo de la percepción del color? Debemos la solución de este enigma a *Thomas Young*, a *Helmholtz* y a *Maxwell*, quienes descubrieron y comprobaron la teoría de la tricromía. Tal como Young ya suponía en su tiempo, el ojo humano, en su parte fotosensible, la retina, que es la pantalla sobre la que el cristalino proyecta las imágenes, tiene dos tipos de células fotoreceptoras: los **bastones**, que se limitan a registrar intensidades de luz, sin distinción cromática, y los **conos**, que se dividen en tres grupos: los que tienen su máxima sensibilidad en el dominio del **azul**, los que la tienen en la región del **verde** y los que la tienen en la del **rojo**. La figura 'Sensibilidad cromática del ojo' representa gráficamente esta distribución de sensibilidades de los tres tipos de conos fotosensibles. Recordamos que el dibujo es esquemático, como todos los dibujos de este libro, y no pretende transmitir ninguna información cuantitativa, sino exclusivamente cualitativa. Para entendernos llamaremos aquí **azul**, **verde** y **rojo** las tres regiones de máxima sensibilidad de los tres grupos de conos, nomenclatura que no ha sido adoptada

¹ 1 nm = un nanómetro = 0,000 001 mm.

universalmente en todas las publicaciones sobre el tema. En algunos libros se habla de violeta, verde y púrpura en este mismo sentido. Otros textos distinguen entre azul aditivo y sustractivo (aquí hablaremos de azul y de cian) y análogamente de rojo aditivo y sustractivo (rojo y magenta). El color cian a veces se llama verde azulado, algunos llaman púrpura al color magenta.

Los bastones tienen más sensibilidad que los conos. En la región de la máxima nitidez visual de nuestra retina, la mácula, no hay bastones, sino exclusivamente conos. Cualquier persona con una visión normal puede observar estos dos hechos con unos simples experimentos. En primer lugar se dará cuenta, que en un ambiente muy poco iluminado todavía puede distinguir formas, pero ya no los colores. A la falta de bastones en la región de la mácula se debe el hecho de que con poca luz ya no conseguimos fijar los objetos. Para ver de noche hay que desviar un poco la vista del objeto que queremos identificar.



El color es pues un fenómeno fisiológico, no físico. Cuando hablamos del color de determinado objeto nos referimos a la sensación cromática que nos transmite este objeto cuando está iluminado con una luz de la misma composición espectral que la luz blanca del día. Un color queda pues determinado por las intensidades de excitación de las tres clases de conos. Puede haber diferentes composiciones espectrales que nos sugieren la misma sensación cromática. La figura 'Sensibilidad espectral de los conos' nos da en su apartado (B) un ejemplo de un mismo color obtenido con dos combinaciones espectrales diferentes de tres luces casi monocromáticas¹. Ya que cada color está determinado por las cantidades de luz registradas por los tres tipos de conos del ojo humano, cada color puede ser representado por una característica formada por tres números ordenados: el primer número representa la cantidad de luz registrada por los conos sensibles al azul, el segundo se refiere al verde y el tercero al rojo. Ejemplos: azul puro (1/0/0), blanco (1/1/1), negro (0/0/0).

Hemos adoptado aquí la secuencia azul, verde, rojo, pero evidentemente se pueden ordenar los tres colores de otra manera. En algunos de

¹ Una radiación es monocromática cuando todas las ondas que la componen tienen la misma longitud.

los dibujos esquemáticos hemos abreviado los colores por sus siglas inglesas, así que valdrán las abreviaciones siguientes:

Abreviación	Color	Característica			
B	Azul	(1/0/0)		Primarios	Fundamentales o Básicos
G	Verde	(0/1/0)		Fundamentales aditivos	
R	Rojo	(0/0/1)			
C	Cyan	(1/1/0)		Secundarios	
M	Magenta	(1/0/1)		Fundamentales sustractivos	
Y	Amarillo	(0/1/1)			
	Blanco	(1/1/1)			
	Negro	(0/0/0)			

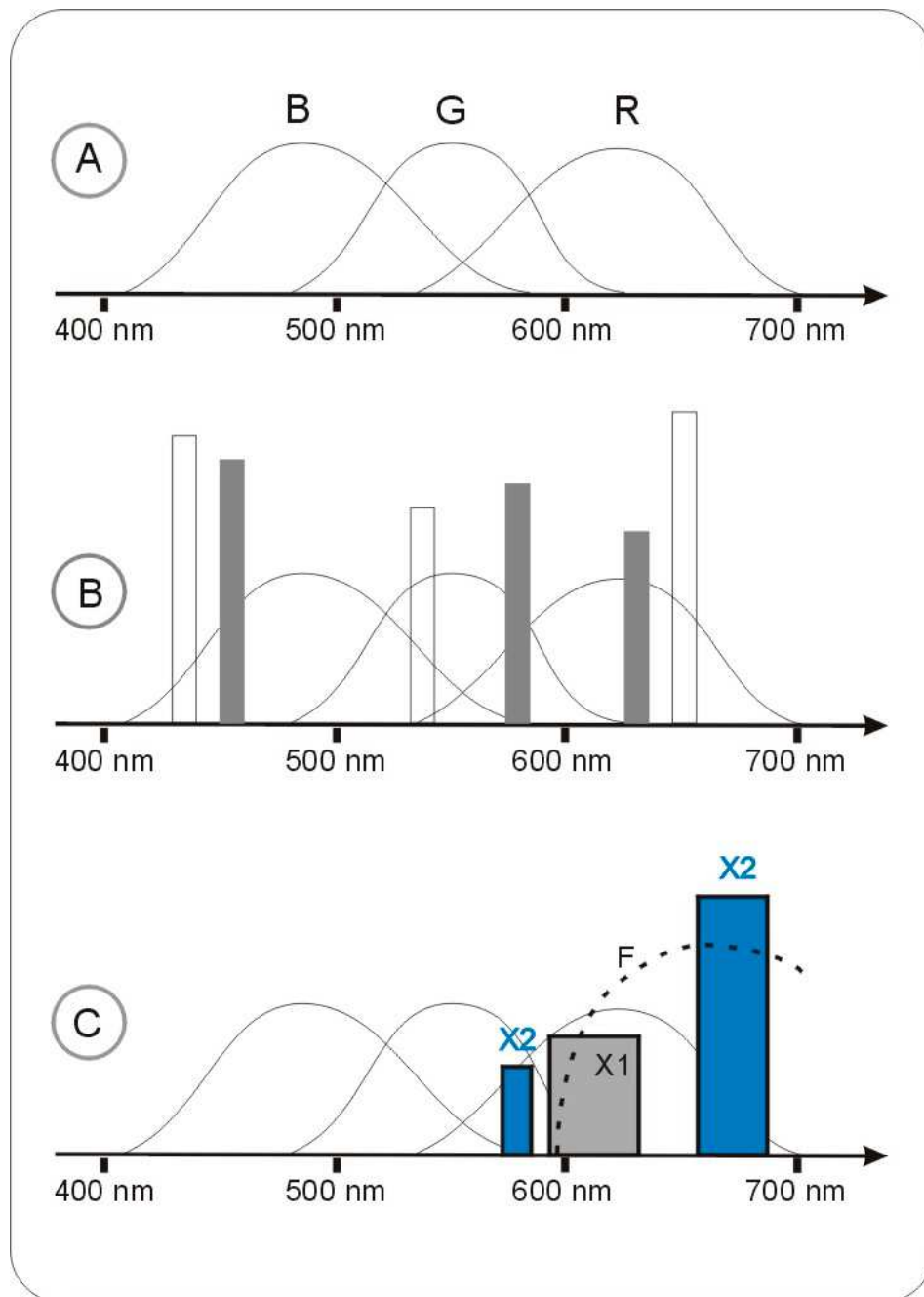
Aunque en diferentes publicaciones no siempre se sigue la misma terminología, aquí llamaremos **colores primarios** al rojo, verde y azul. El conjunto de los colores rojo, verde, azul, cyan, magenta y amarillo forma el conjunto de los **colores fundamentales** o **colores básicos**. Los fundamentales se dividen en fundamentales aditivos (que son los primarios) y fundamentales sustractivos (cyan, magenta y amarillo). También llamaremos **colores secundarios** a estos últimos. Algunos autores incluyen el blanco y el negro en los fundamentales, a pesar de que no se trata de colores en el sentido estricto de la palabra.

Un material transparente que no deja pasar las radiaciones de todas las longitudes de onda se llama un **filtro**. Dos radiaciones se llaman **complementarias** cuando juntas forman luz blanca. Si interponemos un filtro a un rayo de luz blanca, la luz que atraviesa el filtro es la complementaria de la que es absorbida por él.

Hay dos maneras de mezclar colores, combinando filtros: La aditiva y la sustractiva. La combinación o **mezcla aditiva** de dos filtros se puede obtener, por ejemplo, proyectándolos uno sobre el otro mediante un proyector y una pantalla blanca. La **combinación sustractiva** de los mismos filtros se puede obtener proyectándolos superpuestos en un solo proyector. Si los dos filtros escogidos son de colores complementarios, obtenemos el blanco en el primer caso y el negro en el segundo.

El resultado de la adición de dos colores (o filtros) sólo depende del aspecto de sus colores (ley de *Grassmann*), a pesar del hecho de que dos colores del mismo aspecto pueden corresponder a composiciones espectrales diferentes. En cambio, el resultado de la mezcla sustractiva de dos colores depende mucho de la composición espectral de la luz que

corresponde a cada uno. La parte (C) de la figura 'Sensibilidad cromática del ojo' nos va a aclarar todo esto. Imaginemos un par de filtros amarillos, aproximadamente iguales de apariencia, pero muy diferentes en su composición espectral, X1 y X2. Superponemos sucesivamente los dos filtros a un mismo filtro de color naranja correspondiente a la distribución espectral F. En el primer caso resultará un color amarillo anaranjado, y en el segundo, un rojo oscuro. La superposición de X1 y X2 da negro.



Sensibilidad cromática del ojo

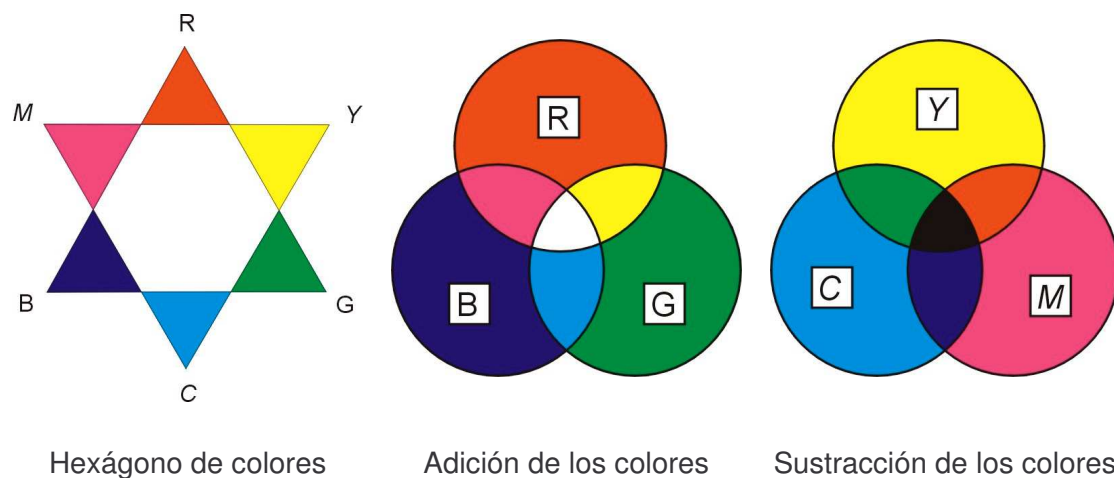
A pesar de que este experimento esté construido artificialmente y que no se pueda realizar físicamente, en la práctica todos los colorantes están sometidos en mayor o menor medida a este efecto. Esto también explica el hecho que muchas veces dos colores que nos parecen idénticos a la luz de una bombilla, nos aparecen muy diferentes a la luz del día. Cuando compramos un hilo para coser sacamos a la luz del día el hilo y la tela para comprobar que son iguales, porque la luz artificial de la tienda puede alterar los colores.

En los impresos son las tintas que cumplen la función de filtros y no es extraño que el aspecto de los impresos pueda variar según la calidad de las tintas empleadas, incluso en el caso de que el aspecto de las tintas planas de un mismo color sea igual.

Cuando se sobreimprimen tintas translúcidas (en el caso de las tintas opacas, esto es evidente) nos daremos cuenta de que también importa el orden en el cual se han aplicado las diferentes capas de color. Esto se explica por el hecho de que las tintas nunca son transparentes del todo y que siempre reflejan una parte de la luz incidente.

Es evidente que a partir de los tres colores primarios azul, verde y rojo podemos reconstruir aditivamente todos los colores existentes. Análogamente se pueden reproducir sustractivamente todos los colores¹ a partir de los tres colores secundarios, que son las combinaciones aditivas de dos en dos de los colores primarios: el **cyan** es la suma del azul y del verde, el **amarillo** es la suma del verde y del rojo y el **magenta** es la suma del azul y del rojo. Este último color no forma parte del espectro solar.

El esquema siguiente representa de 3 maneras las relaciones entre los colores fundamentales o básicos:



¹ Esta regla vale para la gran mayoría de colores; pero en la práctica hay un conjunto de colores que sólo se podrían reproducir si se pudiera mezclar una cantidad negativa de determinado colorante.

Hay una serie de fenómenos cromáticos que no se pueden explicar satisfactoriamente con la clásica teoría de la tricromía. Ya el matemático *Grassmann* se dio cuenta de que para la representación de ciertos colores se hubieran necesitado componentes negativos de algún color fundamental, lo que entra en contradicción con la física. La combinación de diferentes hechos puede explicar la mayoría de estos fenómenos que no se amoldan a la teoría: las curvas de sensibilidad de nuestros conos no son tan esquemáticas como las representamos en nuestra figura idealizada 'Sensibilidad cromática del ojo'. Los diferentes tipos de conos no responden al estímulo de la luz con la misma velocidad y la duración de la respuesta depende del color, de la intensidad y de la duración del estímulo. En el cerebro el fuerte estímulo de un cono podría enmascarar el de otro, de una manera parecida como un sonido puede influir sobre la audición de otro sonido. Y finalmente hay que tener en cuenta que no hemos hablado del papel que juegan los bastones en la visión tricromática. Como en muchos campos, el desconocimiento de los hechos da pie a toda una serie de interpretaciones sectarias y supersticiosas de las que hay que desconfiar.