

# INTRODUCCIÓN A UN ARTE CREADO A TRAVÉS DE LA LUZ: LA ELECTROFOTOGRAFÍA DE TÓNER SECO. LA TÉCNICA Y SU CONSERVACIÓN.

**ELVIRA SAFONT CRUZ**

Estudiante de máster de la Universidad Politècnica de Valencia (esafontc@gmail.com)

**SARA RUIZ DE DIEGO**

Estudiante de doctorado de la Universidad Politècnica de Valencia (sruizeddiego@gmail.com)

## Resumen

El presente trabajo consiste en el estudio técnico y propuesta de conservación preventiva del arte y documentos creados a raíz de las impresiones electrofotográficas con el fin de plantear una visión general del asunto de la manera que se encuentra en nuestros días. Para este análisis, se ha realizado un estudio de la técnica en cuestión, sus materiales constituyentes y qué factores o condiciones deben tenerse en cuenta para evitar daños en este tipo de documentos y obras. De este modo, se pretende demostrar la peculiaridad de esta tipología de producción artística y documental en combinación con su naturaleza material, de modo que se genera un estudio enfocado a la mejora de la conservación preventiva de estas obras. Para ello, se exponen tanto las características intrínsecas de estas creaciones como las extrínsecas, analizando desde el punto de vista de la conservación de materiales las relaciones que se generan entre ambas. Así pues, se presenta un estudio que se enfrenta a la degradación natural de un tipo de arte realizado a través de la forma de energía que hace visible el mundo que nos rodea: la luz.

Palabras-clave: ELECTROFOTOGRAFÍA, XEROGRAFÍA, TÓNER, CONSERVACIÓN, PRESERVACIÓN, MATERIALES, TÉCNICA

### Abstract

This work presents the technical study and the conservation proposal of the art and documents created by electrophotographic printing impressions to have a general vision of the matter in our days. For this analysis, has been made a study of the technique, its constituent materials and factors or conditions must be taken into account to prevent damage in this type of documents and works. Thereby, it is intended to demonstrate the uniqueness of this type of this artistic and documentary production in combination with its material nature, generating a study that includes the preventive conservation of this works. To accomplish th is, both the intrinsic characteristics as the extrinsic are presented, analyzing from the conservation of materials point of view the relation generated between both. Therefore, this study faces the natural degradation of an art made through the energy form that makes visible the world arround us: light.

**Keywords:** ELECTROPHOTGRAPHY, XEROGRAPHY, TONER, CONSERVATION, PRESERVATION, MATERIALS, TECHNIQUE

# 1. INTRODUCCIÓN

El arte de la electrofotografía de tóner seco es una técnica de impresión que apenas supera el medio siglo de vida y es, de las distintas formas actuales del arte tecnológico, el único que combina principios físicos, como son la luz y la electricidad, con un soporte tradicional como es el papel, rasgo que admite, a través del uso de la copiadora, la incorporación de los procesos de creación actuales recurriendo a las técnicas tradicionales. Por consiguiente, el momento de realización artística consiste en la creación una imagen luminosa constituida por cargas eléctricas, que es doble del original y donde la imagen del papel se imprime con el calor o presión, obteniendo la fotocopia o imagen final.

Pero no sólo existen ejemplos de esta técnica a nivel artístico, sino que también contamos con ejemplos a nivel documental, puesto que las impresiones electrofotográficas han tenido diferentes finalidades desde su nacimiento en 1938 de la mano de Chester Carlson en los Estados Unidos:

En primer lugar, ha sido una técnica utilizada para la preservación de información de documentos antiguos de valor, convirtiéndose la copia en fuente directa de la información que contienen los documentos originales. Hoy en día, todavía sigue siendo un procedimiento de copia muy frecuente en archivos y bibliotecas junto con la microfilmación o la actual digitalización. Asimismo, desde la década de los años 70 hasta los años 90 del siglo XX, fue herramienta de expresión empleada por un grupo de artistas que realizaron la producción de obra gráfica seriada a partir de la reproducción por fotocopia. A este movimiento se le llama Copy Art, y hoy en día todavía se conservan los vestigios de sus producciones artísticas. Finalmente, como procedimiento de impresión de obra digital, en la actualidad está siendo, junto con el inkjet o dye sublimation, y una vez que el tema de la reproducción del color se ha perfeccionado, una de las técnicas más empleadas.

Debido a los múltiples usos que se le ha otorgado a la técnica en su historia, se cree necesario establecer unas pautas de conservación de las mismas a raíz de estudios que indiquen con la mayor exactitud posible sus características técnicas.

# 2. LA TÉCNICA

La electrofotografía es un procedimiento de impresión que se fundamenta en fenómenos físicos tales como la fotoconductividad y la electrostática. La fotoconductividad es el fenómeno que determina que ciertos materiales -conocidos como fotoconductores o fotorreceptores- puedan ser más conductivos en la luz que en la oscuridad, de manera que, en condiciones de carga, si la luz incide sobre ellos, las cargas tienden a disiparse allí donde la luz incide, y donde no ha habido exposición a la luz, las cargas permanecen inalteradas (Hawken 1966, 147). La electricidad estática es el fenómeno que tiene lugar cuando dos sustancias se frotan entre sí, creándose una carga estática capaz de atraer pequeños cuerpos (Hawken 1966, 147).

Basado en los fenómenos físicos descritos, y gracias a numerosos inventos y descubrimientos anteriores, en 1938, Chester Carlson patentó un procedimiento para la copia de documentos llamado xerografía o electrofotografía de tóner seco (Cook, 1970). Este invento, que como gran novedad emplea papel corriente, supuso un antes y un después en la búsqueda de un sistema de copia de documentos sencillo, rápido y poco costoso (Diamond 2002, 173).

La base del procedimiento electrofotográfico de tóner seco ha variado poco desde su invención (Sturge et al. 1989). Sin embargo, son numerosas las patentes publicadas en torno a la formulación de las tintas y mejora de los materiales y componentes que forman parte de la máquina con el fin de reducir costes y mejorar la calidad de la imagen.

A pesar de que la xerografía es un procedimiento monocromo en su origen, los intentos por desarrollar una variante a color han sido constantes (Diamond 2002). Ejemplo de ello son la copiadora Xerox 6500, la Canon CLC-1, o el proceso híbrido Color in Color de 3M de los primeros momentos. Aunque estas máquinas no consiguieron el éxito esperado, fueron empleadas por los artistas experimentales, y por tanto son de gran interés para los restauradores-conservadores y las instituciones que custodian este tipo de obras. El éxito de la electrofotografía a color no llegará hasta la década actual. Para ello ha sido necesario cumplir con ciertos requisitos de coste y de calidad como son: buena reproducción del color, buena calidad de la imagen y permanencia de las tintas. En la actualidad, la electrofotografía a color se encuentra en el mismo nivel del inkjet y los procedimientos térmicos.

El elemento básico de la electrofotografía es la tinta, también denominada tóner, cuyo rasgo diferenciador es la cualidad de tener una carga, que puede ser negativa o positiva, fundamental para el correcto funcionamiento de la copia o impresión. El tóner está compuesto por una mezcla de dos componentes: una resina termoplástica, que funciona como medio, que supone entre el 90% y el 95% del peso total del tóner; y un colorante, que puede ser un pigmento o un tinte, que representa entre un 2% y un 5% del peso total del tóner. Además de estos componentes principales, se suelen añadir aditivos con el fin de mejorar las propiedades de la tinta en función de las necesidades de cada máquina electrofotográfica (Diamond 2002, 180).

Por lo que respecta a la imagen final, podemos decir que consta de una capa pictórica con un espesor de 6-15  $\mu\text{m}$  que queda adherida al soporte de forma superficial (Kipphan 2001, 14), es decir, sin penetración entre las fibras del papel. Además, la capa pictórica presenta un brillo característico que le diferencia, por ejemplo, del inkjet, y que contrasta con la apariencia mate de las zonas sin tinta.

A continuación se explica de forma breve cómo se realiza una impresión de tóner seco. Esta información ha sido extraída de las numerosas publicaciones que a nivel técnico tratan el tema. Para mayor profundización, remitimos a estas obras: tanto las clásicas (Cook 1970; Dessauer y Clark 1965; Schaffert 1975; Scharfe 1984), como las más contemporáneas (Kipphan 2001; Schaffert 1975; Scharfe 1984; Schein 1996; Sturge et al. 1989).

Los sistemas de copia de documentos modernos en general, y la electrofotografía de tóner seco en particular, son procedimientos mecanizados en su totalidad. En el caso que nos ocupa, el procedimiento puede dividirse en seis etapas: carga; formación y proyección de la imagen; revelado; transferencia, fijación y limpieza. Antes de nada, es necesario indicar que el elemento sobre el que gira todo el proceso es el elemento fotorreceptor, que puede ser un rodillo o una cinta sin fin, alrededor del cual se van sucediendo todas las etapas del proceso de copia (Fig.1).

El proceso se inicia con la captura de la imagen. En el caso de la copiadora, un documento es dispuesto horizontalmente sobre una bandeja transparente sobre la que se proyecta una luz. De esta manera, tienen lugar fenómenos de absorción de la luz en las zonas de tinta y, reflexión de la luz donde no hay tinta, es decir, en las zonas blancas. En el caso de las copadoras analógicas, la luz que se refleja, es transportada al fotorreceptor por medio de espejos y lentes. En el caso de las copadoras digitales, si bien la luz es transportada por medio de espejos, pasa por un dispositivo que transforma esa luz en una señal digital gracias a un dispositivo llamado CCD (couple charged device). Del mismo modo, en el caso de las impresoras, la señal digital pasa directamente del ordenador a este dispositivo CCD. En estos dos últimos casos, la proyección de la imagen al fotorreceptor se hará por medio de una luz (láser o led) que se enciende y apaga en función de las zonas oscuras y blancas de la imagen a copiar o imprimir.

A continuación, tiene lugar la fase de exposición de la imagen a un soporte intermedio, que, con propiedades fotoconductoras, ha sido previamente recubierto con una carga homogénea bien de signo positivo o negativo. Sobre él será proyectado un haz de luz

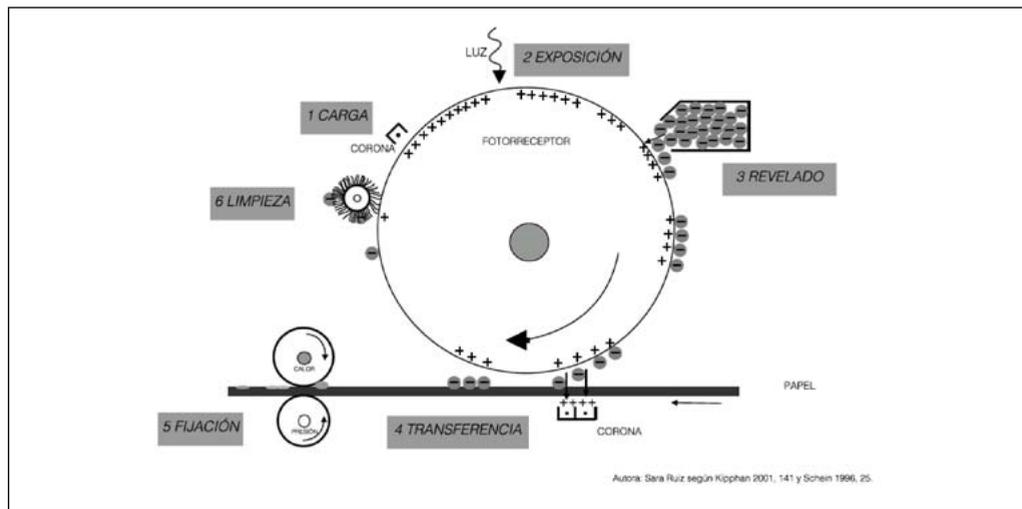


Fig.1. Etapas del proceso electrofotográfico de tóner seco.

De este modo, una vez finalizada la proyección de la imagen sobre el fotorreceptor, se obtiene una imagen creada por cargas positivas y zonas neutras que corresponden con la imagen a copiar. Esta imagen no es visible al ojo humano, pero se hará visible en la fase de revelado, en la que la tinta se adhiere a las zonas con carga contraria. El tóner, que tiene una carga concreta, debe ser opuesta a la del tambor fotorreceptor. Así, si la carga del fotorreceptor es positiva, el tóner debe tener carga negativa. Esto es así para que, gracias a los principios de electrostática descritos anteriormente, el tóner se adhiera en aquellas zonas de carga eléctrica opuesta.

En la siguiente fase -etapa de transferencia-, interviene el soporte de copia, que la mayoría de las veces es papel, pero que en la actualidad puede consistir en una amplia variedad de soportes. En esta etapa, intervienen de nuevo fuerzas electrostáticas. Lo que se pretende es que el tóner pase del material fotorreceptor al soporte de copia por atracción electrostática. En este caso, necesitaríamos que el papel tuviese una carga contraria a la del tóner, que en el caso que estamos explicando, es de signo negativo. Como el papel no tiene propiedades conductoras, se coloca en el reverso una corona que crea un campo eléctrico de carga positiva con fuerza mayor a la del fotorreceptor, de modo que el tóner, atraído por este nuevo campo se adhiere al soporte que está situado sobre la corona. En este punto, la tinta está en el papel. Sólo queda fijar la tinta al papel, que dada la naturaleza termoplástica del tóner, se realizará por medio de la aplicación de calor y/o presión. La última fase es la limpieza de cargas y restos de tóner del fotorreceptor para una nueva copia.

### 3. LA CONSERVACIÓN

Sobre la conservación de estos documentos existen pocos estudios, y los existentes apuntan a los factores de deterioro que son explicados a continuación.

Las impresiones electrográficas son consideradas un proceso de copia muy estable y un modo de impresión asequible (Jürgens 2009, 263). Sin embargo, estas pueden degradarse si las condiciones que las envuelven no son las adecuadas. Los factores de deterioro pueden ser

intrínsecos (fallos en el proceso de impresión, la tipología propia de las impresiones electrográficas y los factores de deterioro típicos del papel) o extrínsecos (las variaciones en la humedad relativa y temperatura del entorno, la acción directa de la luz visible y las radiaciones ultravioleta, la degradación provocada por los diferentes contaminantes atmosféricos que se encuentran en el aire, el almacenamiento inadecuado y tratamientos e intervenciones incorrectas).

A pesar de que los materiales constituyentes de las impresiones electrográficas suelen mostrar estabilidad frente a algunos de los factores principales de deterioro, los cuales deben ser tenidos en consideración y deben ser controlados en la medida de lo posible para conseguir los mejores resultados en cuanto a la conservación preventiva de estos documentos.

### 3.1. FACTORES INTRÍNSECOS

En ocasiones, es en el mismo proceso de creación de la electrofotografía donde se ocasiona un error de impresión que, posteriormente, puede dar paso a daños. Normalmente este factor suele plasmarse en la incorrecta adhesión del tóner al papel, daño común que finaliza con la impresión de las tintas originales sobre soportes que es tan en contacto con la propia impresión electrográfica.

El papel como soporte celulósico tiene un proceso de degradación determinado acorde con su naturaleza, y este proceso puede afectar a los componentes que conforman este tipo de impresiones. Las impresiones electrofotográficas suelen realizarse sobre papel de uso corriente. Este hecho es problemático, ya que ese tipo de papel posee alto contenido en lignina y en sustancias químicas de origen industrial utilizadas para el tratamiento de esa lignina que, con el paso del tiempo, degradan el papel con mayor rapidez.

### 3.2. FACTORES EXTRÍNSECOS

Los niveles altos de temperatura y humedad relativa en el entorno catalizan las reacciones químicas entre las moléculas. Esto puede conducir a la destrucción de moléculas orgánicas como colorantes y constituyentes del medio, como las fibras del papel. Por ejemplo, el tóner puede degradarse con la acción de temperaturas altas afectando a su composición química (Leclerc, Duhamel, and Valette 1993, 226). En conjunto, ambos factores causan efectos en las piezas como la decoloración de materiales fotosensibles, la variación en el balance de color, la formación de manchas amarillentas en el papel. Igualmente, si se crea un ambiente alrededor de las impresiones con niveles altos y prolongados de humedad relativa y temperatura, se crean climas ideales para la proliferación de moho (Jürgens 2009, 220).

Los mecanismos de deterioro que sufren las copias en relación a estos factores son la ruptura de puentes, la fotooxidación y la fotorreducción (Jürgens 2009, 222). Por lo general, las impresiones monocromas son resistentes a la luz, ya que el pigmento que las compone es el negro de carbono normalmente aglutinado en una resina estable. Por su parte, la luz ultravioleta afecta, sobre todo, a los componentes de estireno (Grattan 2000,3) que conforman ciertas resinas utilizadas para esta técnica.

Los contaminantes atmosféricos incluyendo el sulfuro de hidrógeno, los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, los peróxidos y el ozono, pueden causar degradación química en los materiales de origen orgánico como los aglutinantes poliméricos (Jürgens 2009, 224).

Como documento en papel, las fotocopias deben mantenerse en un ambiente adecuado en el que las condiciones ideales descritas serían de  $18\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $50\pm 5\%$  de humedad relativa en una atmósfera sin contaminantes químicos o microbiológicos sin la presencia de luz visible (Leclerc, Duhamel, and Valette 1993, 227). Por otra parte, dependiendo de la naturaleza de tóner, es aconsejable no almacenar las fotocopias bajo presión, ya que este hecho puede ocasionar la migración del tóner de una hoja a la otra o que incluso el contenido pueda ser erosionado a causa de la fricción entre papeles. Asimismo, las copias deben ser guardadas sin recubrimientos de plástico, ya que la imagen puede desprenderse debido a la naturaleza termoplástica del tóner. Una consideración a tener en cuenta, es que la temperatura de reblandecimiento de

tóneres puede ser tan baja como la temperatura ambiente (Subt 1987,38).

Tratar este tipo de impresiones con ciertos disolventes es perjudicial para su conservación, ya que estos pueden disolver sustancias que conforman los componentes del tóner y los revestimientos. Por ejemplo, existen tratamientos de desacidificación en masa del papel, como el Wei T'ó, que están basados en el uso de ciertos disolventes perjudiciales para obras de esta tipología (Grattan 2000, 5).

## 4. CONCLUSIONES

En la actualidad, las impresiones electrofotográficas de tóner seco son, junto con otros procedimientos de impresión como el inkjet o los sistemas térmicos, obras cada vez más frecuentes en las colecciones de arte y fondos de archivos y bibliotecas.

Con el fin de conservar y restaurar de manera adecuada estas obras, es necesario conocer en profundidad tanto sus características morfológicas, la composición de las tintas y el soporte, como identificar correctamente el deterioro y sus causas.

Sin embargo, las publicaciones desde el campo de la Conservación & Restauración de Bienes Culturales son escasas. Sólo encontramos publicaciones sobre recomendaciones a seguir para realizar una copia permanente o algún ejemplo aislado sobre tratamientos en obra real. En este sentido, la industria de los procedimientos de copia es el campo que más inversión dedica a la investigación, hecho que se traduce en la celebración habitual de congresos y publicaciones en revistas científicas. Sus líneas de acción suelen estar orientadas tanto a la mejora del proceso en sí mismo como en lo referente a la innovación de materiales. Sin embargo, se observa poca preocupación en torno a la permanencia de las impresiones a excepción de la estabilidad de las impresiones a color.

En conclusión, podemos decir que la imagen electrofotográfica de tóner seco presenta una serie de particularidades. La tinta electrofotográfica o tóner se compone de una base mayoritaria de resina termoplástica sobre la que se añade un pigmento o tinte que aporta el color y una serie de aditivos que mejoran la eficacia del proceso de copia. La condición termoplástica de la tinta determina el tipo de adhesión de la tinta al soporte, que es en la mayoría de los casos por la acción del calor y de la presión. Estas particularidades técnicas otorgan a la imagen final una serie de particularidades: capa pictórica sobre la superficie del papel sin penetración interfibrilar e imagen con brillo que se hace más perceptible cuanto mayor es la capa pictórica (en colecciones de arte es más perceptible que en copia de documentos).

En cuanto a la conservación, de las publicaciones consultadas, la mayoría están de acuerdo en afirmar que existen tres causas principales de deterioro que afectan a las impresiones electrofotográficas. En primer lugar, las causas relativas al papel, que en la mayoría de los casos son las típicas de papeles industriales corrientes de poca calidad. Un segundo factor de deterioro se refiere al funcionamiento incorrecto del proceso, que repercute en una falta de adhesión de la tinta al soporte y por tanto mayor susceptibilidad al deterioro. Y finalmente, las causas derivadas de un almacenamiento y tratamientos incorrectos que pueden provocar un sinnúmero de daños que van desde la adhesión a segundos soportes como la solubilidad de ciertos componentes.

Es por lo expuesto más arriba que se hace necesaria mayor investigación orientada a la profundización en estos procedimientos de los que tan sólo se conocen una serie de generalidades. Por tanto, el campo queda abierto tanto a aspectos tales como la caracterización de la imagen, como al conocimiento más profundo de los factores de deterioro, identificación de los daños o desarrollo de pautas de almacenamiento y posibilidades de restauración.

## Referencias

- Cook, W. A. 1970. *Electrostatics in Reprography*. London: Focal Press Limited.
- Dessauer, J. H, y Harold C. 1965. *Xerography and Related Processes*. London: Focal Press.
- Diamond, A. S. (ed. 1991 y 2001). *Handbook of Imaging Materials*. New York: Marcel Dekker.
- Grattan, David. 2000. *The Stability of Photocopies and Laser-Printed Documents and Images: General Guidelines*. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Hawken, W. R. 1966. *Copying Methods Manual*. Chicago: LTP Publications.
- Jürgens, M. C. 2009. *The Digital Print: Identification and Preservation*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Kipphan, Helmut. 2001. *Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods*. New York: Springer-Verlag.
- Leclerc, F., Duhamel M., y Valette, N. 1993. "Étude Sur La Stabilité Des Photocopies." En *Les Documents Graphiques Et Photographiques: Analyse Et Conservation*, 223–46. Paris: Archives Nationales.
- Schaffert, R M. 1975. *Electrophotography*. London: Focal Press.
- Scharfe, Merlin. 1984. *Electrophotography Principles and Optimization*. New York: Research Studies Press.
- Schein, L B. 1996. *Electrophotography and Development Physics*. California: Laplacian Press.
- Sturge, J. M, et al. 1989. *Imaging Processes and Materials*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Subt, S Y. 1987. "Archival Quality of Xerographic Copies." En *Restaurator: Journal for the Preservation of Library and Archival Material* 8 (1).