

Electrostática y xerografía

Richard Zallen

Virginia Polytechnic Institute and State University

Existen muchas aplicaciones importantes y tecnológicamente provechosas que pueden incluirse en un estudio acerca del empleo de los fenómenos electrostáticos. Por ejemplo, un sistema para eliminar la polución del aire, de gran interés, es el precipitador electrostático, que desde años atrás hace habitables los terrenos próximos a las fábricas de cemento y a las industrias donde se procesan minerales; este dispositivo parece ser capaz de extraer más del 99 por ciento de cenizas y polvos de los gases procedentes de las salidas de las chimeneas de las centrales térmicas en las que se quema carbón. La idea básica de esta técnica antipolución de gran eficacia se indica en la figura 1. La pared exterior de un tubo metálico vertical está conectada a tierra, mientras que un conductor en forma de alambre situado en el centro del tubo se mantiene a una tensión negativa muy grande. Con esta geometría concéntrica se establece un campo eléctrico no uniforme, cuyas líneas de fuerza están dirigidas radialmente hacia el interior, es decir, hacia el

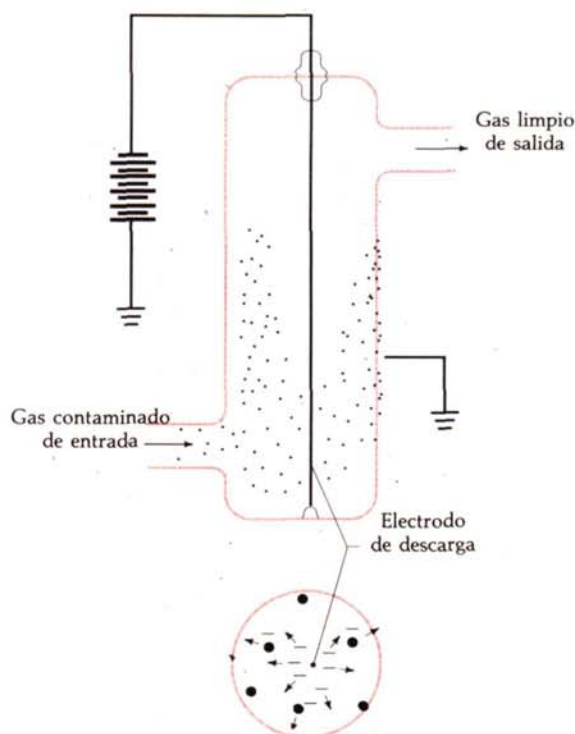


Figura 1 Diagrama esquemático del empleo de una descarga en corona en un precipitador electrostático.



Richard Zallen realizó sus estudios en Madison H.S., en Brooklyn, Rensselaer (B.S.) y en Harvard (Ph.D.). Es miembro de la American Physical Society desde 1976. Antes de asociarse al Virginia Tech en 1983 trabajó durante 17 años

en los laboratorios de investigación Xerox en Rochester, Nueva York, donde lógicamente se especializó en «Electrostática y Xerografía». Está casado y tiene dos hijos.

Durante su profesión como físico, el Profesor Zallen ha realizado estudios experimentales sobre interacción de la luz con sólidos, tales como semiconductores, cristales moleculares y sólidos amorfos. Más recientemente ha trabajado en sistemas sol-gel y semiconductores bombardeados con iones.

El profesor Zallen es probablemente más conocido por su libro *The Physics of Amorphous Solids*, Wiley, New York, 1983.

electrodo de alambre negativo. Cerca del alambre del campo, adquiere unos valores enormes, suficientemente grandes para producir una ruptura eléctrica del aire y la mezcla suave normal de moléculas gaseosas neutras es sustituida por un torbellino de electrones libres e iones positivos. Los electrones procedentes de esta descarga en corona son expulsados hacia fuera por el campo eléctrico. La mayoría de ellos se unen rápidamente a las moléculas de oxígeno produciendo iones O_2^- negativos que también se ven acelerados hacia fuera. Cuando esta corriente de iones pasa cerca del gas de salida caliente procedente de la chimenea que sube por el conducto, las pequeñas partículas que transporta dicho gas resultan cargadas al capturar los iones y se ven empujadas por el campo hacia la pared exterior. Si las partículas nocivas son sólidas, se provoca periódicamente una vibración del conducto para que caigan en una tolva; pero si son líquidas, el residuo simplemente desciende por la pared y se recoge en la parte inferior.

Además de la precipitación electrostática, existen otros ejemplos técnicos de utilización de las propiedades electrostáticas entre los que se pueden incluir el recubrimiento electrostático con pinturas de «spray» y la separación electrostática de mezclas granulares utilizada para la separación de partículas minerales, de los



En las estructuras grises semejantes a cajas, al pie de las chimeneas, se alojan precipitadores electrostáticos.

granos de trigo de otros productos que lo acompañan e incluso los excrementos de roedores del arroz. Sin embargo, la aplicación que constituye el objetivo principal de este ensayo es la xerografía, que es el sistema más ampliamente utilizado de reproducción electrostática o electrofotografía. Este empleo de la electrostática es muy conocido debido al gran número de personas que tienen ocasión de utilizar máquinas de reproducir documentos en oficinas, bibliotecas y colegios y también proporciona un empleo claro de un dispositivo que utiliza una secuencia de distintos fenómenos electrostáticos.

El proceso xerográfico fue inventado en 1937 por Chester Carlson. El término xerografía, literalmente «escritura en seco», fue realmente adoptado un poco después para resaltar la diferencia respecto a los procesos químicos húmedos. El concepto innovador de Carlson no encontró una aceptación inicial y sólo se obtuvo una realización práctica de su idea después de que una pequeña compañía arriesgase su futuro en sus intensos esfuerzos para desarrollar el proceso.

En la figura 2 se ilustran cuatro de las etapas principales que intervienen en la xerografía. Con objeto de dar una mayor claridad al proceso, se ha simplificado habiéndose suprimido diversos detalles. El proceso de

obtención de imágenes electrostáticas tiene lugar sobre una lámina delgada de un material fotoconductor que está apoyado sobre un soporte metálico conectado a tierra. Un fotoconductor es un sólido que es buen aislante *en la oscuridad* pero que resulta capaz de conducir la corriente eléctrica cuando se expone a la luz. En la oscuridad, se deposita una carga electrostática uniforme sobre la superficie del fotoconductor. Esta etapa de carga (figura 2a) se realiza mediante una descarga positiva en corona que rodea un alambre fino mantenido a unos $+5000\text{ V}$ aproximadamente. Esta corona (una versión en miniatura pero de signo opuesto a la corona del precipitador de gran intensidad de la figura 1) se hace pasar sobre la superficie fotoconductora, esparciendo iones positivos sobre ella y cargándola a un potencial de $+1000\text{ V}$. Puesto que la carga es libre para

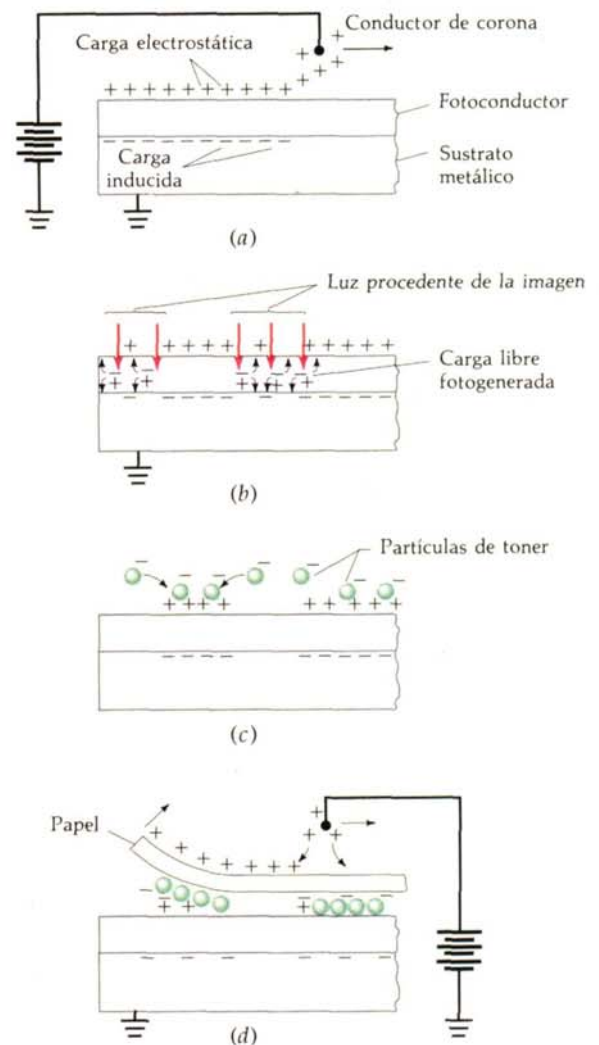


Figura 2 Etapas en el proceso xerográfico: (a) carga, (b) exposición, (c) revelado y (d) transferencia.

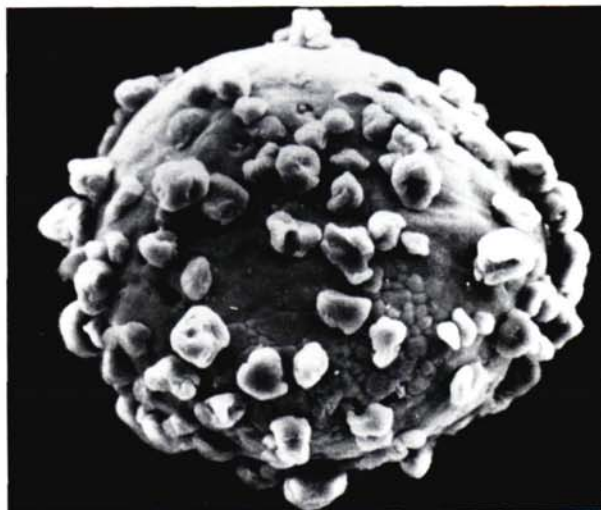
Continúa

fluir dentro del soporte de metal conectado a masa, se desarrolla una carga igual y opuesta inducida en la interfase metal- fotoconductor. En la oscuridad el fotoconductor no contiene ninguna carga móvil y la gran diferencia de potencial persiste a través de esta capa de dieléctrico, que sólo tiene 0,005 cm de espesor.

A continuación la placa fotoconductora se expone a la luz en forma de una imagen reflejada en el documento que ha de copiarse. Lo que ocurre a continuación se indica en la figura 2b. Donde la luz incide sobre el fotoconductor, son absorbidos cuantos luminosos (fotones) y se crean parejas de cargas móviles. Cada pareja fotogenerada se compone de una carga negativa (un electrón) y una carga positiva (un hueco, es decir, un electrón perdido). La fotogeneración de esta carga libre depende no sólo del fotoconductor utilizado, sino de la longitud de onda e intensidad de la luz incidente y además del campo eléctrico presente. Este campo de gran valor ($1000 \text{ V}/0,005 \text{ cm} = 2 \times 10^5 \text{ V/cm} = 2 \times 10^7 \text{ V/m}$) ayuda a separar las parejas mutuamente atractivas electrón-hueco, de modo que quedan en libertad para moverse por separado. Los electrones se mueven entonces bajo la influencia del campo hacia la superficie, en donde neutralizan a las cargas positivas, mientras que los huecos se mueven hacia la interfase fotoconductor-sustrato y neutralizan allí las cargas negativas. En los puntos donde una luz intensa incide sobre el fotoconductor, la fase o etapa de carga queda totalmente eliminada; en donde incide luz débil, la carga se ve parcialmente reducida; en donde no incide ninguna luz, permanece la carga electrostática original sobre la superficie. La tarea crítica de convertir una imagen óptica en una imagen electrostática, que ahora queda registrada sobre la lámina, se ha completado. Esta imagen latente se compone de una distribución de potencial electrostático, que replica el esquema de luz y oscuridad del documento original.

Para desarrollar la imagen electrostática, se ponen en contacto con la lámina unas partículas pigmentadas finas con carga negativa. Estas *partículas de toner* son atraídas hacia las regiones superficiales con carga positiva, como se ve en la figura 2c, y entonces aparece una imagen visible. El toner se transfiere a continuación (figura 2d) a una hoja de papel que ha sido cargada positivamente con objeto de que pueda atraerlas. Un breve calentamiento del papel funde el toner y lo pega produciendo una fotocopia permanente lisa para su utilización.

Finalmente, para preparar la lámina fotoconductora en el caso de una repetición del proceso, cualquier



Partículas de toner, atraídas electrostáticamente por una partícula portadora mayor.

partícula de toner que permanece en la superficie se limpia mecánicamente y se borra la imagen electrostática residual, es decir, se descarga inundándola de luz. El fotoconductor está ahora listo para un nuevo ciclo, partiendo de la etapa de la carga. En las fotocopadoras de alta velocidad la capa fotoconductora frecuentemente tiene la forma de un tambor o cinta de movimiento continuo alrededor de cuyo perímetro están situados ciertos dispositivos para realizar las diversas funciones de la figura 2. La velocidad de la tecnología de impresión xerográfica es, actualmente, del orden de algunas copias por segundo.*

* Para una información adicional sobre los procesos electrostáticos en xerografía, consultar a J. H. Dessauer y H. E. Clark (editores) *Xerography and Related Processes*, Focal Press., New York, 1965; R. M. Schaffert, *Electrophotography*, rev. ed. Focal Press, N.Y., 1973. También se analizan otras modernas aplicaciones de la electrostática en el artículo de A. D. Moore, *Scientific American*, marzo 1972.