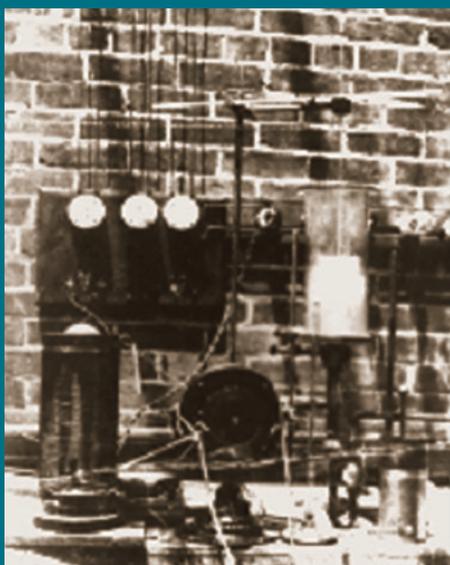
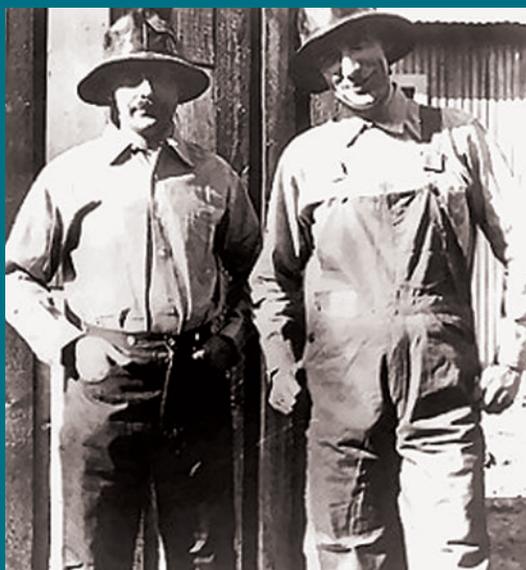




## Aplicaciones de la electrostática



- Frederick Gardner Cottrell (el más alto) experimenta en 1916 con un aparato electrostático para capturar en las chimeneas la niebla y el hollín y evitar que contaminen el ambiente.
- Arriba, el humo sale libremente por la chimenea sin tensión eléctrica.
- Abajo, unos alambres metálicos a 30.000 volt capturan las partículas.

# Aplicaciones electrostáticas

- Electrostática en la industria

Las cargas estáticas (inmóviles o, que apenas se mueven) fueron una curiosidad recreativa y filosófica hasta el siglo XVII. Pero la Revolución Industrial les halló aplicaciones útiles, entre ellas la de eliminar el humo de las chimeneas, que en las grandes ciudades ensuciaba tanto el aire que a la gente enfermaba; además de que se ensuciaba la ropa que ponían a secar.<sup>1</sup>



- Precipitación de humos y nieblas

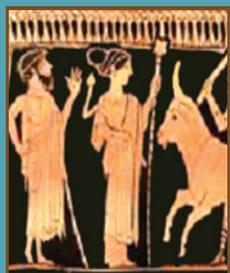
El humo es una mezcla heterogénea de gases de combustión y partículas sólidas de carbón, y líquidas de grasa y de agua. Esas partículas son muy pequeñas, tardan mucho en caer y permanecen en suspensión en el aire. La niebla se compone de gotas muy pequeñas de agua líquida, también en suspensión. El esmog (de *smog*, contracción de *smoke* y *fog*, humo y niebla en inglés) es humo y niebla combinados, que aparece en las ciudades industriales, o en el campo cuando hay incendios.



Para atrapar las partículas, se las carga con alambres alimentados con algunas decenas de miles de volt, y se las atrae con placas o rejillas cargadas con la polaridad opuesta. Cuando el filtro se llena, se lo sacude para que el hollín y la grasa se desprendan y caigan en una bolsa, y se desechan sin tanto daño para el ambiente

<sup>1</sup> Recordemos que el trabajo se expresa en joule. Un joule es el trabajo de una fuerza de un newton que se desplaza un metro hacia adelante.

- Captura de niebla en una taza de café. A veces se forma una capa de niebla en la superficie, que desaparece cuando se acerca un bolígrafo electrizado por frotamiento.



- Ío, la viajera, convertida en vaca por Zeus para esconderla de los celos de Hera. (Jarrón del año 750 a.C.)

como el que representaría tirarlos a la atmósfera. Una partícula cargada de electricidad se llama *ion*,<sup>2</sup> y el acto de cargarla, *ionización*. Los iones se mueven en los campos eléctricos.



- Para capturar el humo en una chimenea se cargan las partículas con alambres de una polaridad, y después se las atrae con placas cargadas con la polaridad opuesta.

El filtro electrostático o precipitador de Cottrell, inventado en 1916, no sólo sirve para limpiar los gases de las chimeneas, o el aire que ingresa a un edificio.<sup>3</sup> Se utiliza también para condensar nieblas producidas artificialmente con fines industriales.

Por ejemplo, una sustancia de gran aplicación en la fabricación de detergentes y champúes es el ácido sulfónico, que se obtiene a partir de la quema de azufre en un ambiente humedecido con pulverizadores de agua. El ácido aparece en forma de niebla muy fina que tarda mucho en caer. Para acelerar su recolección, se la captura con precipitadores electrostáticos, formados por cientos de alambres verticales conectados a decenas de miles de volt. Las gotitas de niebla ácida se adhieren a los alambres, y gotean sobre un recipiente donde se recoge el producto.



- Algunos filtros de humo para cocinas se basan en la captura electrostática de la niebla de grasa, que se quema a baja temperatura por la acción de rayos ultravioletas.

## ● Erosión de superficies para adherencia de pinturas

Es difícil pintar rótulos en bolsas de plástico, y que la pintura quede bien adherida y no se salga con la manipulación. Puesto que la adherencia de la pintura a una base es un fenómeno eléctrico, antes de imprimir las leyendas y marcas sobre las superficies plásticas, se las hace pasar por generadores de alta tensión que dejan la superficie, momentáneamente, cargada; entonces, la pintura se adhiere bien. El campo eléctrico es tan intenso que se desprenden algunas partículas microscópicas del plástico y, gracias a eso, la tinta se adhiere más.



- Los frescos de la Capilla Sixtina en el Vaticano, pintados por Miguel Ángel Buonarroti entre 1508 y 1512, debieron limpiarse varias veces del humo de las velas de las ceremonias y del tránsito de automóviles. Ahora hay filtros de aire, algunos de ellos electrostáticos.

<sup>2</sup> Ion, en griego, significa: *el que va*, y se relaciona con la diosa Ío, que viajó por el mundo para huir de los celos de Hera, esposa de Zeus, padre de los dioses en la mitología griega.

<sup>3</sup> El aire verdaderamente acondicionado debe estar libre de microbios y tener una humedad controlada. Para eso, y aunque sea verano, se lo calienta para esterilizarlo, se lo enfría para que se condense la humedad excesiva (que gotea afuera), se lo vuelve a calentar para darle una temperatura agradable, y se lo humecta con agua estéril si es necesario. Pero muchos llaman aire acondicionado simplemente al aire frío en verano, o caliente en invierno, filtrado apenas con una esponja.

## ● Xerografía

Xerox significa, en griego, a la vez *seco* y *cera*. Para obtener una fotocopia con ese método se carga eléctricamente un cilindro aislante con la ayuda de un alambre que se mantiene cerca de su superficie, y conectado a una tensión de unos diez mil volt.

Una vez cargado el cilindro, se proyecta sobre él una imagen luminosa intensa del original. La luz está compuesta por partículas llamadas *fotones*, que cuando inciden sobre la superficie cargada, le arrancan electrones, o sea que descargan localmente el material previamente cargado.

A continuación se espolvorea el cilindro con polvo negro ceroso, el tóner, el cual se adhiere sólo donde no dio la luz, o sea, en las partes cargadas que corresponden al negro del original.

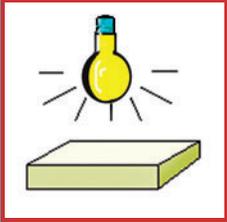
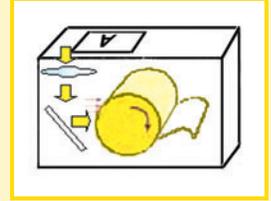
Después, se aprieta un papel contra el cilindro, para transferirle el tóner. Se calienta el papel; la cera se funde, y la imagen queda fija. A veces, cuando el papel se atasca y lo retiran antes de este último proceso de fusión, la copia se borra con los dedos.

La xerografía es una muy útil aplicación de la electrostática, que influyó mucho en el flujo de la información impresa, quizá tanto como la popularización de la imprenta en el siglo XV.<sup>4</sup>

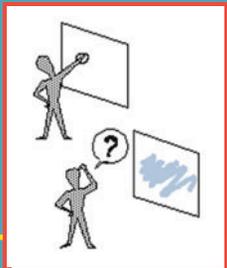
Originalmente los cilindros xerográficos eran de selenio, cuyo óxido superficial es aislante de la electricidad. Hoy se usan diversos plásticos más efectivos y baratos.

Las impresoras láser son fotocopadoras en las que la imagen luminosa, en vez de provenir de un original fuertemente iluminado, se graba directamente con un rayo láser en la superficie de un cilindro previamente cargado eléctricamente.

Una ventaja de las impresoras láser, en comparación con las de tinta líquida, es que las impresiones resisten las salpicaduras de agua sin que se corra la tinta.



- La humedad de Buenos Aires, junto a uno de los ríos más grandes del mundo, impide que las cargas eléctricas se mantengan en su sitio. Por eso, en muchos centros de copiado almacenan el papel en vitrinas con una lámpara encendida, para mantenerlo más caliente que el ambiente y evitar la condensación de agua, que humedece el cilindro y lo descarga.



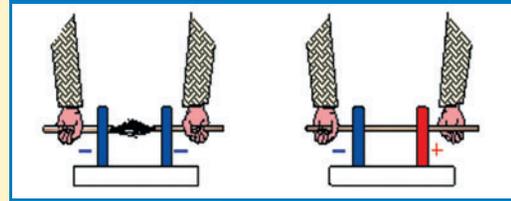
- Es difícil mantener limpia una ventana de plástico de interiores, porque al pasarle un trapo se carga eléctricamente y captura el polvo. En cambio a la intemperie la luz del día la descarga.

## ● Empalme de hilos

En las hilanderías se evitan los nudos en los hilos, porque dificultarían el trabajo del telar, aparecerían en el tejido y disminuirían su calidad. Para empalmar dos

<sup>4</sup> En 1950 tardaban media hora en hacer una fotocopia de las llamadas *en el acto*, y la entregaban húmeda. Por ser lentas y caras, no se usaban en las escuelas; los alumnos calcaban los mapas, o los maestros reproducían originales trazados con lápices de tinta, cuyo pigmento se impregnaba en una gelatina húmeda que se usaba después como un sello para imprimir hasta cincuenta copias. Ese rudimentario aparato se llamaba *gelatógrafo*, y lo construía el propio docente en una lata rectangular de dulce de batata, o lo compraba en librerías. En comparación con los estudiantes de hace medio siglo, los actuales tienen posibilidades de estudio mil veces mayores.

hilos les aplican tensión, entonces sus fibras se separan por la repulsión de las cargas de la misma polaridad. En esas condiciones aproximan los extremos, y las fibras se entrecruzan. Cuando les dan a los hilos polaridades opuestas, las fibras se unen y el hilo queda entero, sin nudo, como si nunca hubiera sido cortado.<sup>5</sup>



## ● Transferencia de hojas de papel en impresoras

Las impresoras más comunes, de uso hogareño y de oficina, hacen correr las hojas de papel con piezas móviles de goma. Pero, a veces, pasan varias hojas a la vez, o ninguna, porque la adherencia entre las hojas es mayor que con la goma gastada o sucia, y el papel se atasca. En impresoras industriales las hojas se toman con ventosas y no por arrastre; pero hace falta una pequeña bomba de vacío. Una solución más silenciosa, compacta y hoy muy barata, es atraer las hojas electrostáticamente, con un pequeño generador de unos miles de volt.



- Si se apoya una hoja de papel o una radiografía contra la pantalla de un monitor de rayos catódicos, se adhiere, atraída por las cargas eléctricas de la pantalla.



- Generador de ozono para baños. El límite higiénico es de 0,1 ppm (partes por millón), o sea, como máximo, una molécula de  $O_3$  cada diez millones de las otras moléculas de  $O_2$  y  $N_2$  del aire. Elimina microbios, y da un olor particular al aire, como el que se percibe después de una tormenta eléctrica, y que muchos llaman olor a tierra mojada.

## ● Ozonizadores

El ozono, u  $O_3$ , es un gas cuyas moléculas están formadas por tres átomos de oxígeno cada una. Normalmente, ese gas sólo existe en la alta atmósfera, adonde llega la radiación ultravioleta del Sol. Esos rayos desarmen las moléculas de  $O_2$  y se forma  $O_1$ ,  $O_2$  y  $O_3$ .<sup>6</sup>

Para desinfectar y desodorizar baños públicos se instalan ozonizadores, que son aparatos que producen ozono en una concentración tolerable durante media hora, o una. Para generar ese gas hay que desarmar las moléculas del oxígeno diatómico ordinario del aire; eso se consigue con un generador de unos seis mil volt.<sup>7</sup>

## ● Pantallas de cristal líquido

Una pantalla de cristal líquido, en inglés *liquid crystal display*, o LCD, está formada por dos vidrios paralelos entre los que se aloja una capa de gel compuesto

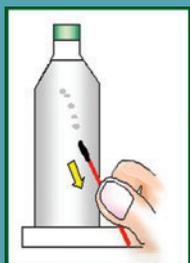
<sup>5</sup> Actualmente se usan más los empalmes de aire comprimido.

<sup>6</sup> El ozono en la alta atmósfera es útil para filtrar la radiación ultravioleta del Sol. Se cree que ciertos gases industriales, los fluorocarbonos que se usan en refrigeración y en envases de aerosol, destruyen esa capa protectora. Inversamente, la quema de combustibles genera ozono, cuyo exceso al nivel del suelo es tóxico para animales y plantas.

<sup>7</sup> También se obtiene un efecto similar, aunque menos efectivo, con una lámpara de rayos ultravioleta protegida para que no dañe la vista. Este aparato, más pequeño, barato y de menor consumo que las antiguas autoclaves de vapor, se usa para esterilizar tijeras y navajas en las peluquerías.



- Pantalla de un reloj en desuso, excitada directamente con una pila o batería.



- Una botella de plástico con pintura de aluminio diluida registra la tensión alterna de 220 V de un cable aislado. El campo eléctrico orienta las escamas metálicas.

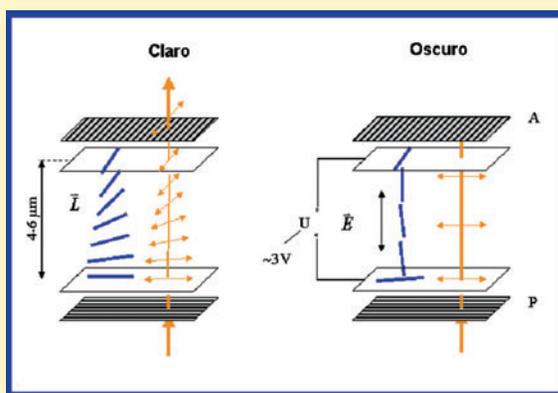


- Los LCD son tan sensibles, que se los puede excitar con la electricidad estática generada al frotar los pies contra el piso.



por partículas alargadas que se orientan en un campo eléctrico. Los vidrios tienen contactos de oro, tan delgados que son transparentes; y sólo se ven bajo ciertos ángulos. Esas pantallas se popularizaron en 1970. Como su funcionamiento es electrostático, no hay corrientes eléctricas permanentes (más que las de carga y descarga), entonces consumen muy poca energía, y se las puede usar en aparatos de pila.

Cuando se aplica tensión a los electrodos, las partículas se orientan y producen el efecto de Schadt–Helfrich en la luz, que consiste en un giro del plano en el que vibran las ondas luminosas, llamado plano de polarización. Si se observa el gel entre dos filtros polaroides, que dejan pasar sólo la luz que está polarizada en determinado ángulo, entonces cuando las partículas se orientan aparece el trazo del número o signo, y cuando se interrumpe la tensión y las partículas del gel se desorientan (se orientan cada una al azar), el trazo desaparece.



- Efecto Schadt-Helfrich

Se puede improvisar un LCD con medios rudimentarios. En una botella de plástico transparente se pone diluyente de pintura y una pequeña cantidad de pintura de aluminio. Cuando se frota la botella con un paño, el plástico se carga y las partículas de aluminio se orientan; eso se nota como un cambio en el brillo de la pintura dentro de la botella.

## ● Tubos de rayos catódicos

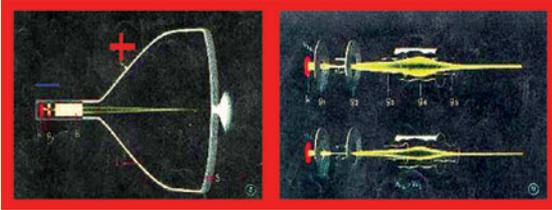
En electricidad, el ánodo es el polo positivo, y el cátodo, el negativo (de *ana*, hacia arriba, y *cata*, hacia abajo, en latín). El nombre genérico para referirse tanto al cátodo como al ánodo es *electrodo*. El científico británico William Crookes<sup>8</sup>



- Réplicas de tubos de Crookes. Se conecta el polo positivo al lateral, y el negativo al extremo. En el frente, pintado con pintura fluorescente, aparece un fulgor. La pequeña cruz de Malta rebatible hace sombra.

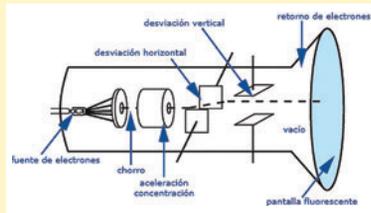
<sup>8</sup> En sus últimos años Crookes se hizo espiritista, y por eso perdió prestigio en círculos científicos. Pero en su juventud y madurez fue un investigador brillante, autor de numerosos descubrimientos, por los que obtuvo el título de Sir.

(1832–1919) estudió las corrientes eléctricas que atraviesan el aire encerrado en un tubo a diferentes presiones, y cuando hizo el vacío notó que algo salía en línea recta del polo negativo hacia el positivo, que hacía brillar materiales fluorescentes. Llamó a ese efecto *rayos catódicos*. Hoy sabemos que son electrones que salen del cátodo y viajan hacia el ánodo a través del espacio vacío.



● **Tubo de rayos catódicos de TV o PC. Un filamento caliente emite electrones, y los atrae la envoltura lateral pintada con grafito conductor. Para que el haz no se disperse, se lo hace pasar por un tubo de potencial positivo, el anillo de enfoque.**

Donde incide el haz de electrones, la pantalla brilla. Unas bobinas alrededor del cuello del tubo, llamadas el yugo, generan campos magnéticos variables que desvían el haz para que trace la imagen. Lo mismo se puede hacer con placas laterales, dos verticales y dos horizontales, sometidas a tensiones alternas.



● **Placas de deflexión horizontal y vertical en el tubo de rayos catódicos de un osciloscopio.**

## ● Tubos fluorescentes, de neón y pantallas de plasma

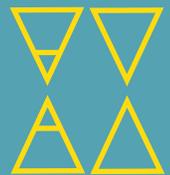
Los campos eléctricos, si son bastante intensos, pueden ionizar los átomos, o sea, arrancarles electrones y convertirlos en iones positivos (partículas cargadas positivamente) mientras que los electrones arrancados de los átomos son iones negativos. Esos iones se mueven cada uno hacia el polo de la polaridad opuesta, y en el camino chocan con átomos y les hacen aumentar su energía; los *excitan*. Cuando los átomos excitados vuelven a su estado normal, emiten la energía sobrante, a veces en forma de luz visible. Ése es el principio en el que se basan los tubos fluorescentes, las lámparas de neón y las pantallas de plasma. Se llama plasma a un gas que tiene ionizada casi la totalidad de sus átomos. Hay plasma dentro de un tubo fluorescente encendido, en una llama, en la superficie del Sol, en una chispa eléctrica, química o mecánica, y en las pantallas de plasma que usan muchos aparatos, y que funcionan como una gran cantidad de tubos fluorescentes diminutos.

Para construir una pantalla de plasma se hace el vacío entre dos vidrios paralelos



● Junto con las copias xerográficas, el tubo de TV ha sido quizás una de las aplicaciones más útiles de la electrostática en la comunicación de información.

● Cuando los electrones chocan contra el pigmento de una pantalla, sufren una frenada brusca, y eso hace que emitan rayos X. Su dosis es limitada y no daña la salud. Sin embargo, se recomienda a las embarazadas que no pasen muchas horas frente a un monitor de computadora o televisor muy cercano. El efecto se conoce como *Bremsstrahlung*, en alemán, radiación de frenado, y se descubrió en 1896.

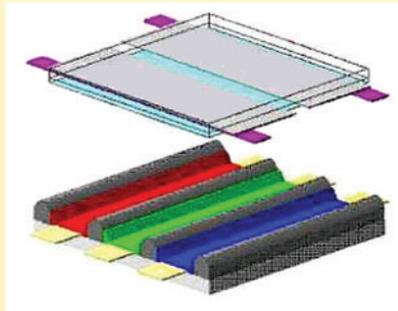


● Los cuatro elementos según la antigua alquimia, tierra, agua, aire y fuego, se podrían identificar con los cuatro estados de agregación de la materia: sólido, líquido, gas y plasma.



- **Aurora polar.** Las partículas cargadas que emite el Sol se desvían en el campo magnético terrestre, excepto en los polos, donde ese campo es vertical y no impide que las partículas solares bajen y exciten los átomos de los gases del aire. Cuando los átomos vuelven a su estado normal, emiten luz.

cercanos, se llena ese espacio con gases a baja presión, y unos electrodos muy pequeños, uno por cada punto de la imagen, o símbolo, hacen que cuando se los conecta a una fuente de tensión eléctrica, ionicen el gas y atraigan los iones, que cuando chocan contra átomos, sin ionizar, los excitan; y estos átomos devuelven esa energía en forma de radiación ultravioleta, que incide contra una pintura fluorescente y hace que fulgure.



- **Rojo, verde y azul: pigmento fluorescente.** Negro: separadores aislantes. Amarillo: electrodos verticales; magenta, horizontales. El espectador ve desde arriba un punto luminoso donde se cruzan bajo dos electrodos, en el instante en que estén bajo tensión.

Las pantallas de plasma, o PDP (*plasma display panel*) son muy delgadas en comparación con los tubos de rayos catódicos, y consumen menos energía eléctrica que ellos.<sup>9</sup>

## ● Memorias electrostáticas



- Una curiosa derivación del microscopio de efecto túnel fue el descubrimiento de que, además de electrones, se pueden arrancar átomos, y cambiarlos de sitio. La figura muestra la sigla IBM (International Bureau Machines, Máquinas de Oficina Internacional), compuesta con átomos de xenón depositados sobre una superficie de níquel. El efecto es útil para construir memorias muy pequeñas para computadoras.

Las primeras computadoras de principios del siglo XX usaban válvulas de vacío, una especie de lámparas de filamento con electrodos adicionales, capaces de amplificar una corriente eléctrica y cumplir funciones lógicas como la de almacenar la información. En 1950, para la misma aplicación, se empezaron a usar transistores, mucho más pequeños y de menor consumo. En 1971 Dov Frohman inventó la EPROM, *Erasable Programmable Read-Only Memory* (memoria de lectura exclusiva programable y posible de borrar), conocidos como chips de memoria fija para las computadoras. Se los puede grabar mediante el procedimiento de aplicarles en un cierto orden tensión a sus patas; con eso quedan cargas eléctricas almacenadas permanentemente en millones de cristales internos. La presencia o ausencia de esas cargas se puede detectar desde las patas del chip, y en eso consiste su memoria.

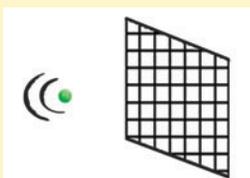
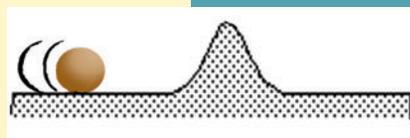
El invento de Frohman, que recuerda el principio de funcionamiento de las

<sup>9</sup> En una época se consideraba, como índice de desarrollo de una comunidad, la cantidad de energía eléctrica que consumía cada habitante por año. Hoy ese mismo indicador tiene un significado a veces opuesto, porque una sociedad realmente avanzada aprovecha la energía, de la que consume escasa cantidad.

copias xerográficas, consistió en eliminar las cargas, cuando hace falta, con la exposición del chip a una fuente intensa de luz o de radiación ultravioleta, entonces la EPROM se puede programar o escribir otra vez.

## ● Microscopio de efecto túnel

Imaginemos una bolita que se desplaza libremente hacia una loma. Si su velocidad es suficiente, la superará; y si es menor, volverá de regreso. Lo mismo pasa con un electrón disparado contra una reja negativa. Si el electrón tiene velocidad suficiente, la atravesará, y en el caso opuesto rebotará, rechazado por la reja de la misma polaridad. Sin embargo, a principios del siglo XX se notó que, unos pocos electrones de energía, que parecía insuficiente, atravesaban esa barrera.



En broma, y pensando en la bolita y la loma, alguien preguntó: *¿Es que pasan, acaso, por un túnel?* Y así quedó ese nombre para designar un efecto que parece extraño, pero que la física cuántica explica a partir de las propiedades ondulatorias de toda la materia, y que se nota más en las partículas pequeñas.

El microscopio de efecto túnel explora una superficie con una aguja muy delgada, conectada a un potencial eléctrico que sólo arranque del material electrones por efecto túnel. Un circuito detecta cada vez que ocurre ese fenómeno, entonces se sabe que la aguja estaba pasando cerca de un átomo y le quitó un electrón. Con ese aparato se ven –indirectamente– átomos individuales.



- Según fabricantes, vendedores y algunos usuarios, los filtros de pantallas hacen más cómodo el trabajo con monitores de rayos catódicos, y protegen la salud. Lo cierto es que la conexión a tierra del vidrio conductor evita las chispas.

## PROPUESTAS DE ESTUDIO

**2.1.** Con la ayuda de fuentes de información ajenas a este capítulo (libros, Internet, consultas a gente que sepa) determinen si es correcta la designación “*relojes de cuarzo líquido*” que usan algunas personas para referirse a los relojes de pantalla de cristal líquido, o LCD. Las pantallas de cristal líquido ¿contienen cuarzo? El cuarzo ¿es líquido a la temperatura ambiente? ¿En qué interviene el cuarzo en esos relojes, y otros de agujas móviles?

**2.2.** Hace veinte años los teléfonos públicos callejeros que contaban con iluminación de 220 V, tenían un cartel que decían PELIGRO, ALTA TENSIÓN. Hoy en cambio dicen PELIGRO, HAY TENSIÓN, puesto que la frase *alta tensión* tiene un significado específico en el ambiente industrial. Averigüen a qué tensiones se las llama muy baja, baja, media, alta y muy alta tensión.





- Si se adhiere una mina de lápiz o un alambre a los contactos de una pantalla de cristal líquido, sirve como detectora de campos eléctricos; indica si hay o no tensión alterna en un cable, sin necesidad de pelarlo.

**2.3.** Estudien una aplicación industrial del tema de este capítulo, que no se haya tratado en él, por ejemplo, los altoparlantes electrostáticos, o ESL (*electrostatic loudspeakers*), el Gran colisionador de hadrones, el microscopio de ion de campo, los músculos artificiales, los relés o relevadores electrostáticos y la separación de granos de cereales y de moliendas.

**2.4.** Algunas personas se alarman por las chispas que saltan a veces entre la mano y la pantalla de un monitor de computadora, y en la creencia de que puedan dañar la salud interponen pantallas de vidrio conductor y algo oscuro que evitan ese efecto, y, supuestamente, interceptan radiaciones dañinas, como podrían serlo los rayos X. Investiguen el tema. Si esos filtros son útiles ¿por qué no los incorporan de fábrica? ¿Hay en el mercado propuestas similares –justificadas o no– para pantallas de plasma y de cristal líquido?

**2.5.** ¿Por qué las pantallas de los monitores de tubo de rayos catódicos se ensucian tan rápidamente, y más que los vidrios de las ventanas?

**2.6.** Construyan un detector electrostático como el de la figura ubicada en el margen izquierdo, y comprueben con él si los filtros de pantalla eliminan el campo eléctrico en las cercanías. (Conviene acercar y alejar el detector, para que indique.)

## ● Otras fuentes de estudio

A pesar de que sus datos carecen de respaldo académico, hay sitios en la web que constituyen fuentes útiles de información, y buenas orientaciones de búsqueda. Sin embargo, se propone una fuente de mayor seriedad académica es *Interacciones a Distancia*, de A. Maiztegui, R. Ádám, S. Queiro, A. Rela y J. Strajman, Prociencia, Conicet, 1994, en la Biblioteca del Maestro y en <http://www.inet.edu.ar>, Capacitación, Materiales, Ciencias para la educación tecnológica.