

# FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD

PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD,  
ELECTRÓNICA, CONTROL Y ORDENADORES

R. G. SEIPPEL

EDITORIAL REVERTÉ



# **FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD**

**PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD,  
ELECTRÓNICA, CONTROL Y ORDENADORES**



# FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD

**PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD,  
ELECTRÓNICA, CONTROL Y ORDENADORES**

R. G. SEIPPEL



**EDITORIAL  
REVERTÉ**

Barcelona · Bogotá · Buenos Aires · México

*Título de la obra original:*

**Fundamentals of electricity**  
**Basics of Electricity, Electronics, Controls and Computers**

*Edición original en lengua inglesa publicada por*

**American Technical Society, Chicago, 60637**  
*Copyright © by American Technical Society*

*Edición en español:*

© Editorial Reverté, S. A., 1977

Edición en papel:  
ISBN: 978-84-291-3072-0

Edición e-book (PDF):  
ISBN: 978-84-291-9027-4

*Versión española coordinada y traducida por:*

**Dr. José Aguilar Peris**  
Catedrático de la Facultad de Ciencias de la Universidad  
Complutense de Madrid

**Propiedad de:**

**EDITORIAL REVERTÉ, S. A.**  
Loreto, 13-15. Local B  
Tel: (34) 93 419 33 36  
08029 Barcelona. España  
reverte@reverte.com  
www.reverte.com

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos, queda rigurosamente prohibida sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas por las leyes.

# 665

## *Prefacio a la Sexta Edición*

La nueva sexta edición de los *fundamentos de electricidad* ha sido escrita para dar al técnico electricista una visión moderna del campo eléctrico y la situación actual de esta ciencia. Además el objetivo del libro ha sido ampliado para reflejar la interrelación entre la electricidad y la electrónica.

En los últimos años se ha hecho cada vez más difícil trazar la línea divisoria entre la *electricidad* (relacionada fundamentalmente con las aplicaciones de potencia de baja frecuencia) y la *electrónica* (circuitos de alta frecuencia, elementos de comunicación de frecuencia elevada, controles, calculadoras, etc.). Es corriente que el técnico electricista sea solicitado para instalar y mantener equipo electrónico y por tanto, debe poseer un conocimiento básico de ambos campos.

Con estas ideas en la mente, esta 6a. edición revisada de los *Fundamentos de Electricidad* fue desarrollada para proporcionar al estudiante de electricidad una visión actual de los circuitos fundamentales utilizados en las aplicaciones electrónicas, así como los circuitos de potencia de motores, iluminación y otras aplicaciones ordinarias.

El capítulo 4, *Circuitos eléctricos*, ha sido escrito de nuevo añadiéndose circuitos de tipo avanzado e incluyendo circuitos en estrella y en triángulo y otros. En el capítulo 8 se introduce una explicación completa de los *Principios de la corriente alterna*. Como el uso de oscilógrafo y los generadores de señales son esenciales en los sistemas eléctrico-electrónicos actuales, sus fundamentos se incluyen en el capítulo 11, *Instrumentos eléctricos de medida*.

El capítulo 14, *Elementos de estado sólido*, se ha ampliado para incluir diodos especiales, transistores y dispositivos inte-

grados. Se ha escrito un nuevo capítulo 15, *Circuitos de estado sólido*, en paralelo al capítulo 13, *Circuitos de válvulas electrónicas*.

El capítulo 15, de ediciones anteriores titulado *Procesos de automatización y ordenadores*, se ha dividido en dos capítulos separados. La primera parte es ahora el capítulo 16, *Sistemas de control automático*, y la segunda parte es ahora el capítulo 17, cubre los principios de *Tecnología de ordenadores*. Un pequeño y último capítulo 18, *Medidas de seguridad eléctrica y electrónica*. Normas para evitar los peligros más importantes y procedimientos de emergencia. El Occupational Safety and Health Act de 1970 que señala la responsabilidad de cada quien, hace resaltar la necesidad de instruir al personal en este tema a todos los niveles.

Se han añadido cinco apéndices: Apéndice A, *Letras, símbolos, abreviaciones y prefijos*; Apéndice B, *Símbolos eléctricos y electrónicos*; Apéndice C, *Fórmulas eléctricas y electrónicas*; Apéndice D, *revolución con tablas trigonométricas o regla de cálculo* (con texto y tablas decimales); y Apéndice E, *Cuadrados, cubos, raíces y números recíprocos*.

La sexta edición de los *fundamentos de Electricidad* es la culminación de eminentes profesores de las ciencias eléctrica y electrónica. Entre éstos al ya desaparecido Kennard C. Graham, autor de la primera edición, y los colaboradores Wynne L. McDougal, Richard R. Ranson y Carl H. Dunlap. El autor de la presente edición revisada agradece la colaboración de estos hombres.

También quiere el autor dar especiales gracias al equipo de trabajo, a la American Technical Society por su cooperación e infatigables esfuerzos y a la contribución de Mr. Dal Fitts, editor técnico.

*Los Editores.*



# Índice analítico

- 1. El átomo 1**
  - Introducción
  - Electricidad estática
  - Energía atómica
  - Cuestiones de repaso
  
- 2. Electricidad dinámica 19**
  - Los electrones con movimiento
  - Cuestiones de repaso
  
- 3. La ley de Ohm y sus aplicaciones en la corriente continua 31**
  - Ley de Ohm
  - Aplicaciones de la ley de Ohm
  - Cuestiones de repaso
  
- 4. Circuitos eléctricos 43**
  - Circuito en serie
  - Circuito en paralelo
  - Circuitos mixtos (serie-paralelo)
  - Tipos de circuitos más avanzados
  - Cuestiones de repaso
  
- 5. Magnetismo y electromagnetismo 57**
  - Magnetismo
  - Electromagnetismo
  - Cuestiones de repaso
  
- 6. Generadores eléctricos simples 73**
  - Introducción
  - Pilas primarias
  - Pilas secundarias
  - Otros medios de generar electricidad
  - Pilas y baterías en circuitos
  - Cuestiones de repaso
  
- 7. Generadores de corriente continua 90**
  - Principios generales
  - Obtención de la corriente continua
  - Estructura de campo de la corriente continua
  - Cuestiones de repaso

## VIII Índice analítico

- 8. Principios de la corriente alterna 110**
  - Generación de la corriente alterna
  - Inductancia en los circuitos de corriente alterna
  - Capacitancia en circuitos de corriente alterna
  - Capacidad en circuitos de corriente alterna
  - Cuestiones de repaso
  
- 9. Motores eléctricos 142**
  - Principios de funcionamiento
  - Velocidades características de los motores de corriente continua
  - Motores de corriente alterna
  - Cuestiones de repaso
  
- 10. Transformadores, reguladores de voltaje y rectificadores de potencia 170**
  - Transformadores
  - Autotransformadores y reguladores
  - Reguladores
  - Rectificadores de potencia
  - Cuestiones de repaso
  
- 11. Instrumentos de medidas eléctricas 200**
  - Medidores de corriente continua
  - Aparatos de medida de la corriente alterna
  - Equipo de ensayo electrónico
  - Cuestiones de repaso
  
- 12. Válvulas electrónicas 233**
  - Introducción
  - Principios básicos
  - Construcción
  - Tubos amplificadores
  - Cuestiones de repaso
  
- 13. Circuitos de las válvulas electrónicas 256**
  - Circuitos de diodo
  - Circuitos del triodo amplificador
  - Cuestiones de repaso
  
- 14. Elementos de estado sólido 273**
  - Introducción
  - Ciencia de los semiconductores
  - Elementos semiconductores
  - Micro-miniaturización
  - Otros elementos de estado sólido
  - Cuestiones de repaso

- 15. Circuitos de estado sólido 301**
  - Circuito con diodo
  - Circuitos amplificadores con transistores
  - Cuestiones de repaso
  
- 16. Sistemas de control automático 328**
  - Introducción a la automatización
  - Mecanismos de control
  - Control de máquinas por medio de técnicas de circuito cerrado
  - Cuestiones de repaso
  
- 17. Tecnología del ordenador 346**
  - Introducción
  - Principios de los ordenadores
  - Operaciones con ordenadores
  - Organización de los ordenadores
  - Elementos de memoria
  - Cuestiones de repaso
  
- 18. Medidas de seguridad eléctrica y electrónica 366**
  - Generalidades
  - Responsabilidad
  - Descarga eléctrica
  - Técnicas de rescate rápido en casos de descargas eléctricas
  - Conductores parásitos de electricidad
  - Manipulación de baterías
  - Control de fuego producido por la electricidad
  - Hábitos sobre la soldadura
  - Cuestiones de repaso
  
- Apéndice A: Símbolos literales, abreviaturas y prefijos 371**
- Apéndice B: Símbolos eléctricos y electrónicos 377**
- Apéndice C: Fórmulas eléctricas y electrónicas 385**
- Apéndice D: Resolución de problemas eléctricos con tablas trigonométricas o regla de cálculo 399**
- Apéndice E: Cuadrados, cubos, raíces y números recíprocos 408**
- índice alfabético 411**



# El Atomo

## INTRODUCCION

El estudio correcto de la teoría eléctrica con sus modernas aplicaciones requiere un conocimiento del átomo, pues éste constituye el fundamento básico de todos los principios eléctricos. El átomo representa en sí mismo un campo de estudio, pero el técnico electricista debe conocer su estructura básica si desea entender y ser eficaz en su materia. En este capítulo presentamos los detalles esenciales para el estudio de la teoría eléctrica.

### Materia y moléculas

Todas las sustancias, gases, líquidos y sólidos, están compuestas de *materia*. Si analizamos la composición de la materia encontraremos que está formada por moléculas, las cuales pueden definirse como la división de materia más pequeña que puede realizarse de tal modo que la sustancia retenga su identidad química. Las moléculas a su vez están formadas por átomos. La composición molecular de la

materia tiene tres clasificaciones: elementos, compuestos y mezclas, según los tipos de átomos que forman la molécula. La Fig. 1 ilustra estas clasificaciones.

Los *elementos* están compuestos de moléculas formadas por una sola especie de átomos. El cobre es un elemento por-

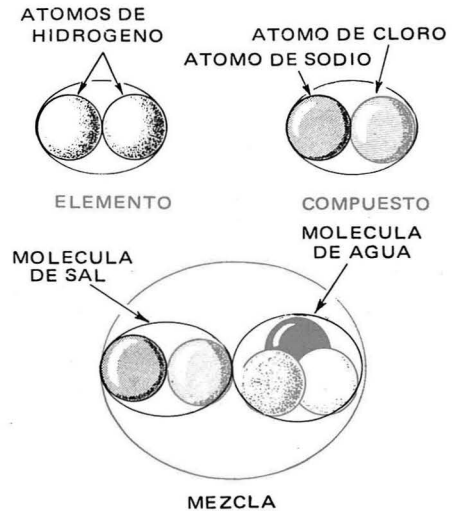


Fig. 1. Las tres clasificaciones de la composición de la materia.

## 2 Fundamentos de Electricidad

que si la molécula se divide resulta contener sólo átomos de cobre. Cuando se utiliza la palabra “elemento” suele hacerse referencia al átomo más que a la molécula del elemento.

Los *compuestos* poseen moléculas formadas por diferentes tipos de átomos o elementos. Una molécula de sal es un compuesto porque está formada de dos elementos distintos: un átomo de sodio y un átomo de cloro. Fig. 1. La composición de cualquier compuesto particular nunca varía. Una molécula de sal en cualquier parte del universo está siempre formada de un átomo de sodio y un átomo de cloro.

Las *mezclas* están formadas por diferentes tipos de moléculas que a su vez pueden ser compuestos o elementos. Un ejemplo es la mezcla de agua y sal, cuyos dos integrantes son compuestos. Una forma fácil de distinguir entre mezclas y compuestos es recordar que una mezcla puede separarse por métodos físicos o químicos en las diferentes sustancias que le componen. La mezcla de sal y agua mencionada antes puede separarse en agua pura y sal pura, pero ni el agua ni la sal pueden descomponerse sin destruir las moléculas.

### Estructura del átomo

En su estructura el átomo se compara frecuentemente al sistema solar, Fig. 2, en el cual los planetas giran alrededor de un cuerpo central o sol que siguen las trayectorias conocidas como órbitas. El cuerpo central del átomo está formado por protones y neutrones y se denomina *núcleo*. Los cuerpos planetarios del átomo son las partículas eléctricas llamadas electrones. La Fig. 3 ilustra la estructura del átomo de hidrógeno con un protón en el núcleo y un electrón en órbita. El hidrógeno es

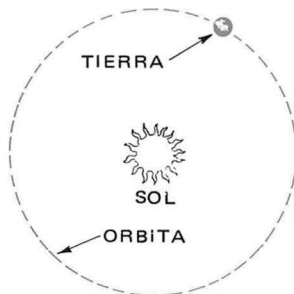


Fig. 2. La tierra girando en órbita alrededor del sol.

uno de los átomos más simples de todos los elementos; los átomos más complejos tienen un gran número de electrones en órbita, así como un mayor número de protones y neutrones en el núcleo.

La analogía del átomo con el sistema solar fue utilizada sólo para ilustrar la estructura básica del átomo, pero aparte de esta comparación no se encuentran puntos de semejanza. El punto esencial es recordar que los electrones giran en órbitas fijas alrededor del núcleo. Volveremos al tema de las órbitas después de ofrecer una visión más profunda de las partículas que forman el átomo.

### El electrón

El electrón es una partícula eléctrica que posee una carga negativa (-). Es una partícula extraordinariamente pequeña en comparación con el protón y debido a su velocidad orbital alrededor del núcleo transporta una cantidad considerable de energía. Como todos los electrones poseen cargas negativas, repelen a otros electrones y ejercen una fuerza de atracción sobre los protones cargados positivamente.

**El protón**

El protón forma parte del núcleo. Su masa es aproximadamente 1836 veces la del electrón y tiene una carga eléctrica positiva (+), opuesta pero de igual magnitud que la del electrón. Los protones, al ser todos positivos, se repelen entre sí, pero ejercen fuerzas atractivas sobre el electrón negativo.

**El neutrón**

El neutrón es una partícula que se encuentra en la mayor parte de los átomos. (El átomo de hidrógeno, Fig. 3, no posee neutrones.) Tiene aproximadamente la misma masa que el protón, pero es neutro en su carga eléctrica.

**El núcleo**

Básicamente el núcleo está formado por una masa compacta de protones y neutrones. Existen otras muchas partículas en el núcleo, pero su contribución a la

masa o efectos del átomo es pequeña y sólo son de interés al científico atómico.

Si antes hemos establecido que los protones, al tener la misma carga, se repelen entre sí, el hecho de que se agrupen compactamente para formar el núcleo parece una extraña contradicción. Este es un hecho para el cual los científicos no tienen respuestas definidas, aunque algunas teorías afirman que el neutrón podía estar formado por un protón y un electrón cuyas cargas se han neutralizado y pueden representar la fuerza de enlace entre los protones que se mantienen juntos en el núcleo. El número de protones y neutrones en el núcleo varía en los distintos elementos según el átomo particular correspondiente.

**Número atómico**

En el átomo normal el número de protones del núcleo es exactamente igual al número de electrones en órbita. El número de protones en el núcleo nunca varía para un átomo particular y se denomina

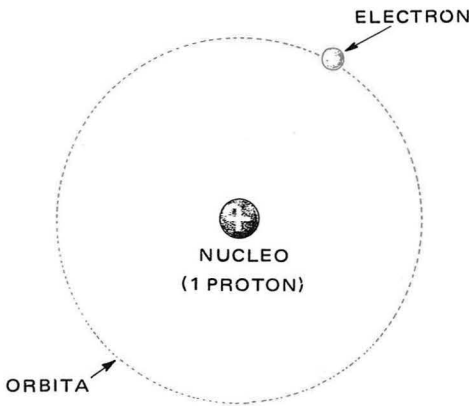


Fig. 3. Ilustración de la semejanza del átomo del hidrógeno con el sistema solar.

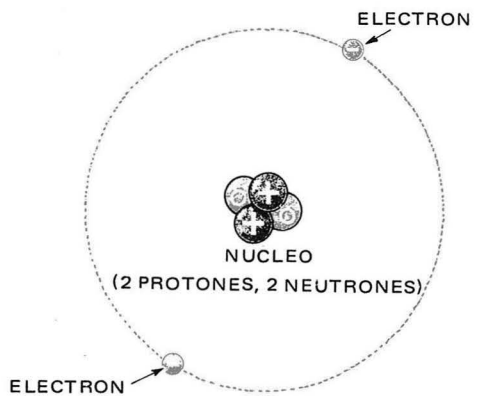


Fig. 4. Esquema del átomo de helio con el núcleo y los electrones orbitales.

*número atómico* del átomo. Estos números se han determinado por los científicos para cada elemento y vienen relacionados en lo que se llama "Tabla de los elementos". El número atómico, así como el símbolo y peso atómico vienen indicados en esta tabla. Por ejemplo, el átomo de helio, Fig. 4, tiene dos protones en el núcleo y número atómico igual a 2.

### Peso atómico

El peso atómico de un átomo es igual a la suma de protones y neutrones del núcleo. Obsérvese que el número de protones *no es* siempre igual al número de neutrones del núcleo y sólo puede determinarse con referencia a la tabla de pesos atómicos, tabla I. Por ejemplo, el helio tiene un peso atómico de 4, que coincide con la suma de los dos protones y los dos neutrones que posee el núcleo. Sin embargo, el cobre tiene 29 protones y un peso atómico de 63.54. Restando el número de protones del peso atómico se obtiene el número de neutrones y aproximadamente son 34.

*Isótopos.* Cuando un átomo particular tiene diferentes formas y pesos constituye un *isótopo*. Un isótopo se forma cuando se añade o se quita un neutrón del núcleo de un elemento. El átomo normal de hidrógeno tiene sólo un protón en el núcleo y un peso atómico igual a 1, pero el deuterio, isótopo del hidrógeno, posee un neutrón en el núcleo y peso atómico igual a 2.

### Orbitas atómicas

Aparentemente el electrón en órbita, con una carga negativa, debía caer sobre el núcleo cargado positivamente. Si no ocurre así es porque la gran velocidad de su movimiento orbital tiende a sacarle de su

órbita alrededor del núcleo del mismo modo que una cápsula espacial escapa de la atracción gravitatoria terrestre. La atracción del núcleo cargado positivamente es justamente la necesaria para equilibrar las fuerzas de movimiento y atracción.

El número de electrones en órbita alrededor del núcleo varía naturalmente con el tipo particular del átomo. Sin embargo, es bien conocido que independientemente del número de electrones existentes, el número que pertenece a cada órbita (o capa) sigue una norma específica. Por ejemplo, la primera capa orbital nunca contiene más de dos electrones cualquiera que sea el número de electrones del átomo. La segunda capa puede variar según el tipo de átomo, pero tiene un número máximo de 8 electrones. La tercera capa contiene de 8 a 18 electrones. La cuarta capa contiene el resto de los electrones del átomo, una vez se han completado las tres primeras capas. El átomo de cobre, Fig. 5, ilustra la distribución en capas con 2 electrones en la primera capa, 8 en la segunda y 18 en la tercera. El electrón restante nº 29 forma la capa externa.

En el esquema simplificado de las órbitas del átomo de cobre resulta que los electrones de cada capa siguen una secuencia rotatoria ordenada. Realmente cada electrón tiene una órbita diferente a los restantes, pero la distancia desde el núcleo es la misma para todos los electrones en la misma capa.

El número de electrones de la capa externa es importante para establecer las propiedades eléctricas de una sustancia decidiendo si se trata de un conductor o de un aislante. El cobre, que tiene solo un electrón en la órbita externa es un buen conductor. Este electrón por ser el más alejado del núcleo, donde la fuerza atractiva está muy disminuida, es comparativa-

TABLA 1 LOS ELEMENTOS

Número atómico	Nombre del elemento	Símbolo del elemento	Peso atómico	Número atómico	Nombre del elemento	Símbolo del elemento	Peso atómico
1	Hidrógeno	H	1	53	Iodo	I	127
2	Helio	He	4	54	Xenón	Xe	131
3	Litio	Li	7	55	Cesio	Cs	133
4	Berilio	Be	9	56	Bario	Ba	137
5	Boro	B	11	57	Lantano	La	139
6	Carbono	C	12	58	Cerio	Ce	140
7	Nitrógeno	N	14	59	Praseodimio	Pr	141
8	Oxígeno	O	16	60	Neodimio	Nd	144
9	Flúor	F	19	61	Prometeo	Pm	147
10	Neón	Ne	20	62	Samario	Sm	150
11	Sodio	Na	22	63	Europio	Eu	152
12	Magnesio	Mg	24	64	Gadolinio	Gd	157
13	Aluminio	Al	27	65	Terbio	Tb	159
14	Silicio	Si	28	66	Disprobio	Dy	162
15	Fósforo	P	31	67	Holmio	Ho	165
16	Azufre	S	32	68	Erbio	Er	167
17	Cloro	Cl	35	69	Tulio	Tm	169
18	Argón	A	39	70	Yterbio	Yb	173
19	Potasio	K	39	71	Lutecio	Lu	175
20	Calcio	Ca	40	72	Hafnio	Hf	179
21	Escandio	Sc	45	73	Tántalo	Ta	181
22	Titanio	Ti	48	74	Volframio	W	184
23	Vanadio	V	51	75	Renio	Re	186
24	Cromo	Cr	52	76	Osmio	Os	190
25	Manganeso	Mn	55	77	Iridio	Ir	193
26	Hierro	Fe	56	78	Platino	Pt	195
27	Cobalto	Co	59	79	Oro	Au	197
28	Níquel	Ni	59	80	Mercurio	Hg	201
29	Cobre	Cu	64	81	Talio	Tl	204
30	Zinc	Zn	65	82	Plomo	Pb	207
31	Galio	Ga	70	83	Bismuto	Bi	209
32	Germanio	Ge	73	84	Polonio	Po	210
33	Arsénico	As	75	85	Astato	At	211
34	Selenio	Se	79	86	Radon	Rn	222
35	Bromo	Br	80	87	Francio	Fr	223
36	Kriptón	Kr	84	88	Radio	Ra	226
37	Rubidio	Rb	85	89	Actinio	Ac	227
38	Estroncio	Sr	88	90	Torio	Th	232
39	Ytrio	Y	89	91	Protactinio	Pa	231
40	Circonio	Zr	91	92	Uranio	U	238
41	Columbio	Cb	93	93	Neptunio	Np	239
42	Molibdeno	Mo	96	94	Plutonio	Pu	239
43	Tecnecio	Tc	99	95	Americio	Am	241
44	Rutenio	Ru	102	96	Curio	Cm	242
45	Rodio	Rh	103	97	Berkelio	Bk	245
46	Paladio	Pd	107	98	Californio	Cf	246
47	Plata	Ag	108	99	Einsteinio	E	253
48	Cadmio	Cd	112	100	Fermio	Fm	256
49	Indio	In	115	101	Mendelevio	Mv	256
50	Estaño	Sn	119	102	Nobelio	No	254
51	Antimonio	Sb	122	103	Lawrencio	Lw	257
52	Teluro	Te	128	104 y 105	En estudio		

NOTA: Los elementos 1 a 92 se encuentran normalmente en la naturaleza. Los elementos 93 y posteriores fueron descubiertos por el hombre en las transmutaciones.

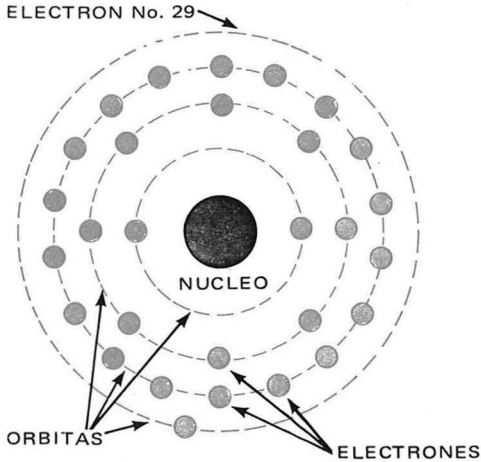


Fig. 5. Dibujo simplificado del átomo de cobre ilustrando la distribución numérica de los electrones en las diversas capas. Las líneas coloreadas representan la distancia orbital de los electrones desde el núcleo y es la misma para todo electrón de la capa.

mente fácil de arrancar de su órbita por una acción eléctrica. Un electrón extraído de su órbita se denomina *electrón libre*. Un átomo que ha perdido un electrón de su capa externa se dice que está positivamente cargado e intentará atraer otros electrones libres a su órbita para completar la capa externa. Este movimiento de los electrones libres constituye el flujo de corriente eléctrica o *flujo de electrones*.

En aquellos átomos que poseen un gran número de electrones en la capa externa la fuerza combinada de atracción del núcleo es mucho más intensa y resulta más difícil extraer un electrón de su órbita. Las sustancias formadas por este tipo de átomos se denominan aisladores, debi-

do a que no conducen la corriente eléctrica u ofrecen gran resistencia a su flujo.

Es posible eliminar uno o más electrones de una capa externa por atracción de átomos adyacentes, por acción de un campo magnético o por otros medios, tales como la fricción mecánica. La pérdida de un electrón destruye el estado neutro del átomo y le suministra una carga positiva en exceso de una unidad.

## ELECTRICIDAD ESTÁTICA

### Carga estática

Al frotar dos objetos entre sí, se extraen los electrones de los átomos superficiales en cantidades distintas según el material. El objeto cuyos átomos adquieren un exceso de electrones se dice que posee una carga negativa estática y el otro objeto adquiere una carga positiva estática. El término *estático* significa en reposo.

Si una barra de caucho se frota con un trozo de lana los electrones tienden a acumularse en la superficie de la barra dando lugar a una carga estática negativa, mientras los átomos cargados positivamente en la superficie de la lana le suministran una carga estática positiva. Cuando una barra de vidrio se frota con un paño de seda, la barra se carga positivamente y la seda negativamente. Estos resultados y otros semejantes dependen de la naturaleza física y eléctrica de los materiales.

### La ley de la atracción y repulsión estática

La Fig. 6 representa una pequeña bola de material muy ligero, como la pulpa de madera (médula) suspendida de un hilo.

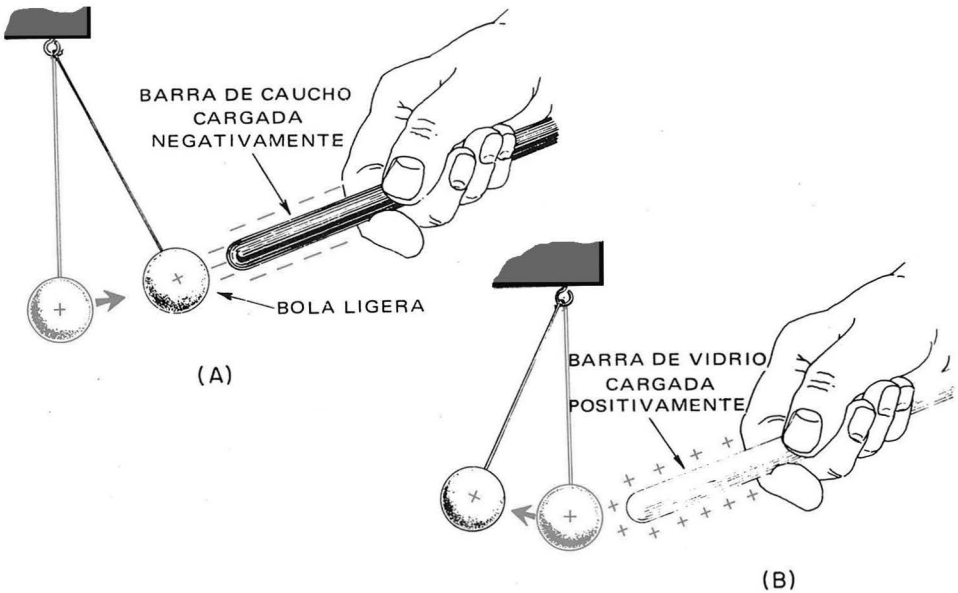


Fig. 6. Las cargas de signo distinto se atraen; las de igual signo se repelen.

Si la bola se carga positivamente y se le acerca una barra de caucho cargada, como indica la Fig. 6(A), la bola será atraída oscilando hacia la barra cargada negativamente, mostrando que las cargas opuestas se atraen. Si en cambio, se acerca una barra de vidrio, como indica la Fig. 6(B), la barra es repelida oscilando hacia la izquierda y mostrando que dos objetos cargados positivamente se repelen entre sí. Cuando el experimento se repite con una bola cargada negativamente, la barra de vidrio de carga positiva atrae la bola ilustrando de nuevo la regla de que las cargas opuestas se atraen; igualmente la barra de caucho la repele. La regla de interacción entre las cargas eléctricas positivas y negativas puede establecerse del modo si-

guiente: *las cargas opuestas se atraen, las cargas iguales se repelen.*

### Cargas inducidas

Si se dispersan pequeños trozos de papel sobre una superficie plana y se les acerca una barra de vidrio cargada positivamente como indica la Fig. 7(A) son atraídos por la barra. Si en lugar de una barra de vidrio se utiliza una barra de caucho cargada negativamente, Fig. 7(B), los trocitos de papel actúan de la misma forma. En el primer caso son atraídos por una carga positiva; en el segundo por una negativa. Si únicamente se hubieran atraído por la barra de vidrio, podríamos haber supuesto que los pedacitos de papel

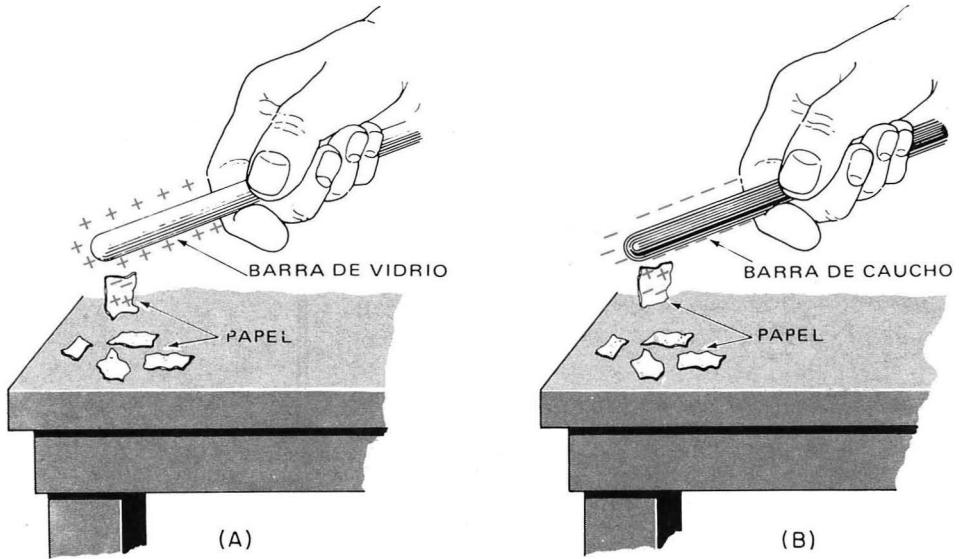


Fig. 7. Cargas estáticas inducidas.

estaban cargados negativamente, pero en este caso hubieran sido repelidos por el caucho, cuando realmente ha ocurrido lo contrario.

La razón de la acción idéntica en ambos casos puede verse gráficamente. En la Fig. 7(A) la barra cargada positivamente atrae los electrones a la superficie superior del trozo de papel, dislocando los átomos y repeliendo los átomos positivamente cargados que así se han formado. En la Fig. 7(B) la barra cargada negativamente repele los electrones de sus átomos y atrae los átomos cargados positivamente que así se forman; en ambos casos los trozos de papel se mueven hacia las barras. Cuando las barras se separan se observa que en los papeles no queda ninguna carga eléctrica, es decir, los átomos vuelven a su estado primitivo *neutro*. Se dice que

las barras han inducido un estado temporal de carga en los trocitos de papel, proceso que se conoce como inducción estática.

### Ejemplos comunes de carga estática

El desplazamiento de electrones con carga estática resultante ocurre cada vez que un objeto se mueve respecto a otro, aunque no siempre se observa. Cuando paseamos sobre una alfombra se arrancan electrones de ésta que pasan a la suela del zapato; al peinarnos se transfieren electrones de los cabellos al peine; el viento arranca por frotamiento electrones de las paredes de las casas; la agitación de la gasolina en un tanque móvil crea cargas en el recinto metálico. Todos hemos experimentado a veces una pequeña descarga

eléctrica al descender del automóvil así como la crepitación de una prenda de nylon al separarle de otra de lana. La mayor parte de estos efectos son insignificantes, pero algunos de importancia se destacan en los siguientes párrafos.

**Carga estática sobre cintas móviles**

La electricidad estática se engendra a veces sin intención y su presencia puede ser altamente indeseable, pues puede causar serios daños e incluso ser peligrosa para la vida humana. Un caso frecuente es el que se crea por fricción entre correas y poleas. La Fig. 8(A) muestra un motor que actúa sobre su carga por medio de una correa y dos poleas. La fricción entre la superficie de la correa y las superficies de las poleas, la fricción entre las partículas del material que compone la correa e incluso la fricción entre ésta y el aire que le rodea, da lugar a una carga sobre la

superficie de la correa como se indica en la figura.

Cuando la carga estática alcanza un valor elevado puede neutralizarse por sí misma en forma de una chispa que salta por el aire. Al hacerlo así, selecciona el camino más fácil. Si este camino incluye los arrollamientos del motor, la chispa puede perforar el aislamiento ocasionando una avería costosa.

Este inconveniente puede obviarse disponiendo un cepillo metálico que elimine la carga de la correa a medida que se forma. La Fig. 8(B) muestra la forma en que esto puede hacerse. El cepillo se coloca próximo a la correa y el exceso de electrones se conduce a tierra. El cepillo puede tener forma de peine con agudos dientes que se sitúan próximos a la superficie de la correa o bien puede estar formado por muelles cortos y flexibles que hacen contacto directo con la correa. La *conexión a tierra* se llama simplemente *tierra*.

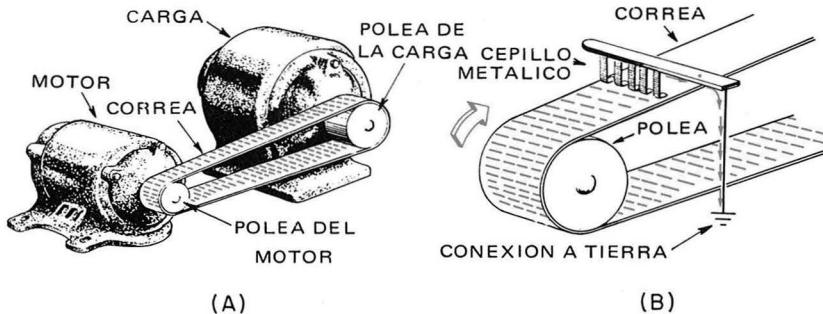


Fig. 8. Método de eliminar cargas estáticas de una correa móvil.

*Peligros de la electricidad estática.* La electricidad estática ocasiona frecuentemente incendios o explosiones en los elevadores de granos. La fricción entre el grano y los recipientes metálicos da lugar a una carga negativa sobre el grano y a una carga positiva sobre el metal. Cuando la carga se hace suficientemente grande puede saltar una chispa entre metal y grano causando un incendio o una explosión. Naturalmente el mejor remedio es asegurar un buen contacto a tierra de los objetos metálicos.

En las fábricas de papel y en las imprentas las cargas estáticas depositadas sobre la superficie del papel hacen que las hojas se adhieran unas a otras, con el trastorno consiguiente. Esto puede neutralizarse acondicionando el aire del taller de modo que se incremente su humedad. Como el aire húmedo es mejor conductor que el aire seco las cargas estáticas pasan fácilmente al suelo y desaparecen. Cuando este método es impracticable o ineficaz, se hace pasar el papel sobre peines o cepillos conectados a una fuente de cargas positivas o negativas y se neutraliza cualquier carga existente.

La electricidad estática ha sido la causa de algunas explosiones serias y a veces fatales ocurridas en quirófanos de hospitales. Las cargas estáticas procedían del rozamiento de los zapatos con suela de caucho sobre el suelo o de la fricción del anestésico sobre tubos o gomas. Una chispa estática cerca de gas explosivo producía a veces heridas en el personal o incluso la muerte del paciente. La conexión a tierra en estos casos no proporcionaba una protección completa porque el problema era demasiado complejo. Sin embargo, la dificultad se ha resuelto hoy con ayuda de caucho conductor. El caucho ordinario es un aislante que favorece la acumulación de cargas estáticas. El cau-

cho conductor en cambio impide su acumulación transportando las cargas al suelo antes de que pueda saltar una chispa.

Los incendios en las estaciones de gasolina resultan a veces de las chispas producidas por cargas estáticas. Los neumáticos de los automóviles al moverse sobre el pavimento de asfalto adquieren una fuerte carga negativa que se transfiere a la carrocería del coche. Entre ésta y la alargadera metálica de la manguera de gasolina puede saltar una chispa si la carga del coche no se elimina antes de introducir la manguera en el depósito de gasolina. Para neutralizar esta carga basta usualmente un pequeño toque de la alargadera con el metal del coche, pues los electrones se transportan al suelo por un cable metálico que rodea la manguera.

*Rayos.* Uno de los más frecuentes peligros de las cargas estáticas es de origen natural. En ocasiones el rayo es ciertamente peligroso para la propiedad y la vida. La Fig. 9 explica su naturaleza. La Fig. 9(A) muestra una nube de tormenta que pasa sobre la tierra. Esta nube tiene una carga negativa en la superficie inferior y una carga positiva en la superficie superior. Existen distintas teorías que explican como se acumulan estas cargas, pero quedan fuera del nivel de este libro. Cuando las cargas se disponen de este modo, su acumulación continúa hasta que el voltaje es suficiente para que se produzca un flujo masivo de electrones desde la superficie negativa a la positiva a través de la nube húmeda. Este flujo de corriente puede llegar a ser de un millón de amperios en una fracción de segundo y la chispa muy intensa produce el destello luminoso que llamamos relámpago.

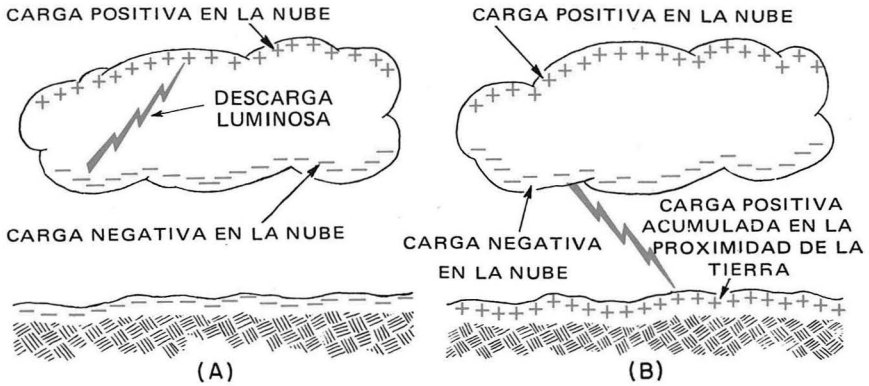


Fig. 9. Descargas de rayos.

entre las dos superficies con cargas opuestas de la nube. Este intenso flujo a través del aire desarrolla un calor intenso y calienta el aire que atraviesa. El aire caliente se expande y se desplaza. Otras masas de aire frío tienden a ocupar su lugar, y cuando chocan entre sí originan el ruido característico del *trueno*.

Cuando tiene lugar la descarga de un rayo entre una nube y la tierra o algún objeto sobre ésta, pueden resultar daños considerables como consecuencia del intenso calor desarrollado. La descarga generalmente se produce contra el objeto más alto que existe en las proximidades del lugar en el cual la tierra y la nube establecen su presión eléctrica.

Por ello los edificios y estructuras se defienden por medio de *pararrayos*. Un pararrayos es una barra metálica con una punta afilada que se eleva por encima del punto más alto de una estructura. La Fig. 10 muestra el pararrayos en el pico de un tejado con dos aguas. La barra metálica

está conectada a un cable grueso que a lo largo del tejado y de la fachada de la casa llega hasta el suelo. El cable debe conectar la barra y el suelo lo más verticalmente posible. La barra ofrece un camino fácil a la elevada corriente instantánea que resulta al producirse el rayo. Si el pararrayos

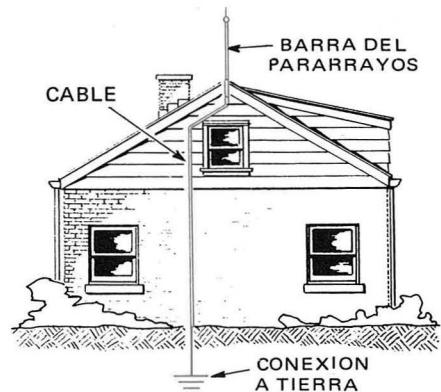


Fig. 10. Pararrayos.

yos no existiese el rayo chocaría contra el tejado produciendo daños en la casa.

**Eliminador de polvos**

A veces las cargas estáticas pueden ser muy ventajosas. Hay muchas industrias que producen cantidades grandes de polvo como producto residual. El polvo se acumula a veces en la superficie del lugar

arruinando tierras y granjas y afectando incluso al aspecto del paisaje. Como consecuencia surgen costosos pleitos y las comunidades han promulgado leyes para defenderse de los perjuicios. Las fábricas de cemento y otras de naturaleza semejante se protegen contra este problema por medio de *precipitadores de polvo*.

Un precipitador, como el de la Fig. 11 se inserta en un respiradero que echa fue-

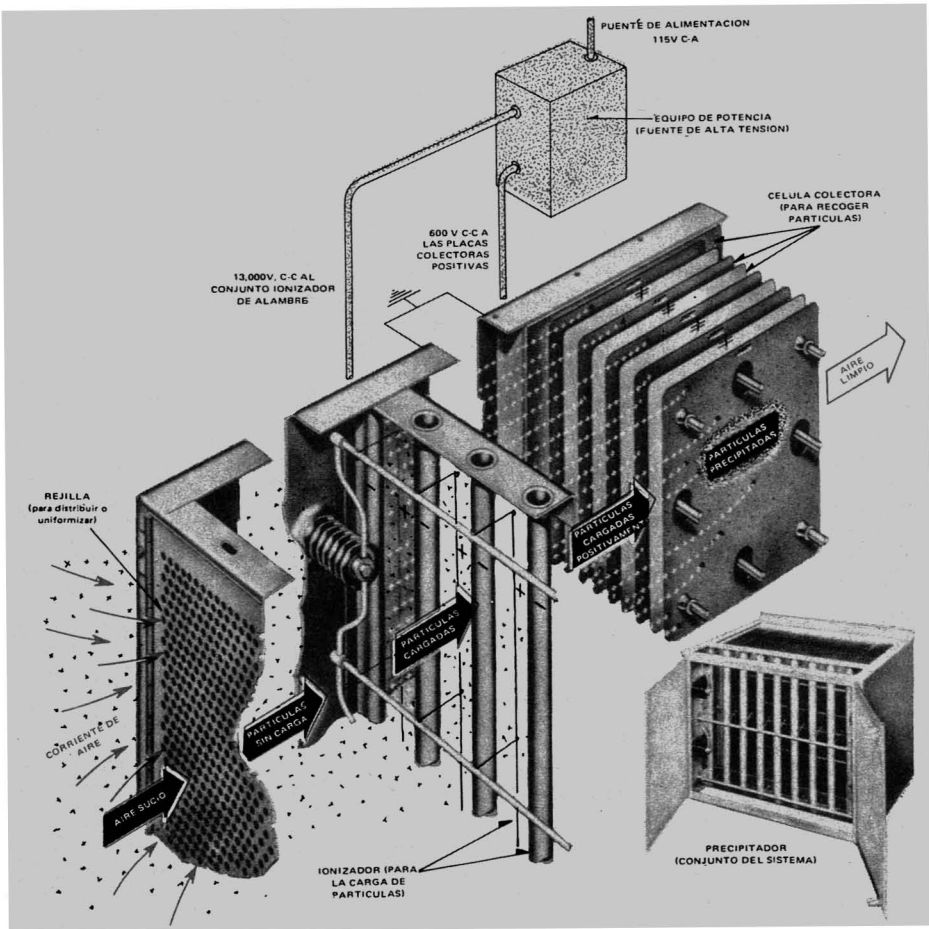


Fig. 11. Precipitador de polvos

ra los humos de la fábrica. El aire sucio entra en la unidad a través de una pantalla y pasa a través de una rejilla que está conectada a una fuente de cargas negativas por medio de un cable aislado. Las partículas de polvo se cargan negativamente por contacto o por influencia con la rejilla. La conexión positiva de una fuente de energía se une a la célula colectora. Las partículas de polvo con carga negativa son atraídas por las paredes cargadas positivamente y se depositan allí, mientras el gas o el aire limpio pasa a través del tubo del respiradero. Cuando las partículas de pol-

vo se acumulan formando una capa gruesa sobre las paredes, su peso es superior a la fuerza atractiva y caen por un conducto para su eliminación.

**Generador electrostático de van de Graaf**

Una máquina electrostática de amplio uso hoy es el generador de van de Graaf, Fig. 12. Una columna aislante hueca se mantiene en posición con una base soporte y se cubre con una cúpula metálica. Dentro de la base hay una fuente de alta tensión que suministra una corriente de

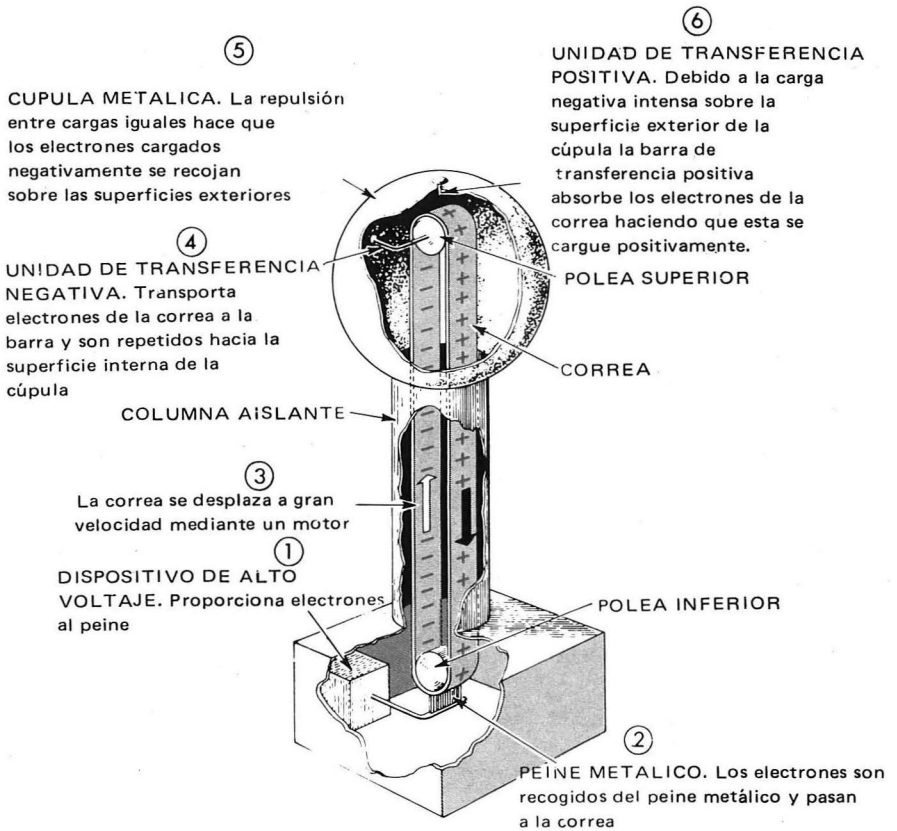


Fig. 12. Generador electrostático de van de Graaf.

electrones a un peine metálico. Este se coloca a corta distancia de la correa que se mueve en la dirección de las flechas alrededor de dos poleas. Dentro de la cúpula está la unidad de transferencia negativa que transporta los electrones de la correa móvil a la superficie interior de la cúpula. Hay espacios de aire que separan la unidad de la cúpula y de la cinta. Otra unidad de transferencia está unida directamente a la cúpula por encima de la polea superior y su extremo inferior se aproxima mucho a la cinta.

Durante su funcionamiento la polea inferior se mueve a alta velocidad por acción de un motor eléctrico. El dispositivo de la base suministra electrones al peine. Estos electrones repelidos continuamente de las púas afiladas del peine se depositan en la superficie de la cinta que los lleva hacia la barra de transferencia negativa superior. Aquí los electrones pasan de la cinta a la barra y son repelidos hacia

la superficie interna de la cúpula. La repulsión entre cargas iguales hace que los electrones cargados negativamente se acumulen en la superficie exterior de la cúpula y originen allí una fuerte carga. En consecuencia, en la superficie interior tiende a acumularse una carga positiva. La barra de transferencia positiva unida a esta superficie interna se carga y como está muy próxima a la cinta absorbe electrones de ésta que quedará positivamente cargada a medida que pasa. Cuando la cinta alcanza la polea del fondo la carga positiva sobre su superficie queda neutralizada y un exceso de electrones viene suministrado por el peine.

Con esta máquina se obtienen voltajes muy elevados para su uso en máquinas de rayos X especiales y para el trabajo experimental en operaciones de investigación atómica. Debe observarse que la cúpula puede tomar una carga positiva en lugar de negativa, si así se desea.

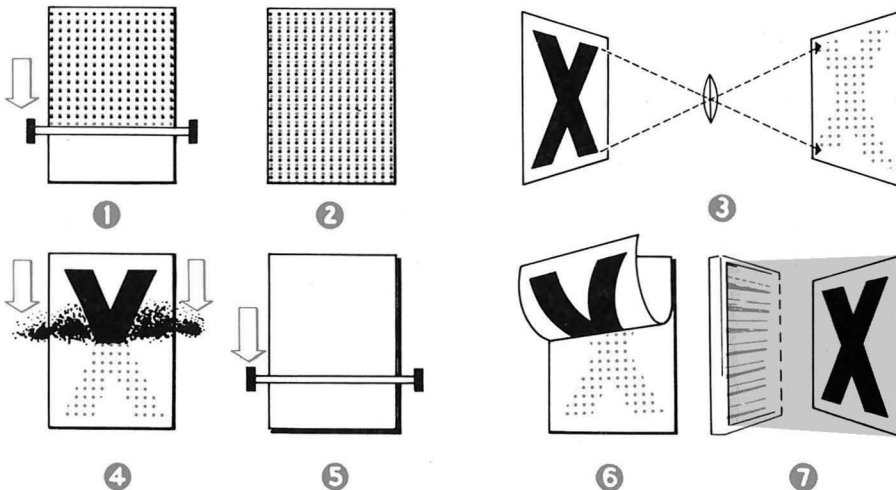


Fig. 13. Operación del reproductor Xerox.

## Reproductor Xerox

Una contribución reciente en el campo de los dispositivos electrostáticos es el *reproductor Xerox*, empleado en las oficinas administrativas de Estados Unidos y Europa. El principio de operación viene indicado en la Fig. 13. (1) Una placa metálica recubierta de selenio se carga al pasar bajo una red de alambres cargados negativamente. (2) Esto da a la placa una carga positiva. (3) La copia X se proyecta sobre la placa cargada mediante la lente de una cámara. Las pequeñas cruces muestran la imagen proyectada formada por cargas positivas. Estas cargas desaparecen en las áreas expuestas a la luz. (4) A continuación se esparce polvo cargado negativamente sobre la placa positivamente cargada y por tanto, se adhiere a la imagen. (5) El papel se coloca sobre la placa. (6) El papel cargado positivamente atrae el polvo y este forma una imagen positiva. (7) El papel se calienta para fundir el polvo y formar una huella permanente.

## ENERGIA ATOMICA

### Importancia del núcleo

En la anterior discusión del átomo, el núcleo fue descrito como positivamente cargado y compuesto de protones o de protones y neutrones. Sin embargo, un átomo puede ser desprovisto de uno o más electrones sin perder su identidad química, mientras que cualquier alteración del núcleo cambia drásticamente la naturaleza del átomo convirtiéndose en el de otra sustancia distinta. El sueño del alquimista de la Edad Media sobre la

transformación de un metal en oro puede realizarse teórica y experimentalmente, aunque no sea económicamente rentable. En los últimos veinte años los científicos han realizado un estudio concentrado del núcleo con importantes resultados. Los primeros intentos de romperlo fueron un fracaso y se llegó al convencimiento de que los componentes del núcleo estaban unidos con una fuerza poderosísima. Con el advenimiento de instrumentos y aparatos más poderosos se consiguió finalmente el resultado deseado dando lugar a una serie de investigaciones que han aumentado extraordinariamente el conocimiento de la estructura nucleónica.

### El neutrón

Los átomos que adquieren una carga eléctrica debido a la pérdida de un electrón se denominan *iones*. El ciclotrón y otros aparatos semejantes utilizan iones para bombardear sustancias que actúan como blanco para romper sus núcleos. Los físicos experimentales descubrieron que ciertas partículas secundarias emitidas de este modo parecían tener una potencia mayor que los iones originales de alta velocidad. Estas partículas secundarias resultaron ser neutrones y su mayor penetrabilidad procedía de la ausencia de carga eléctrica. No eran repelidas como los iones por la carga normalmente positiva del núcleo. También se descubrió que ciertos metales pesados e inestables que se desintegraban espontánea y gradualmente emitían neutrones en el proceso.

### Reacción en cadena

La investigación de los materiales productores de neutrones condujo al desarrollo de la bomba atómica, cuya fuerza tremendamente destructora está basada en

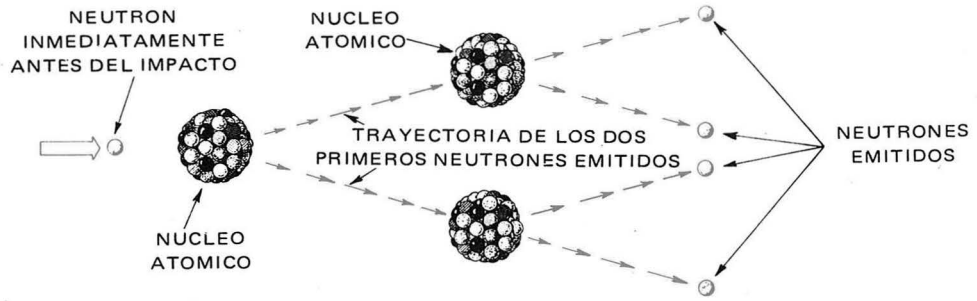


Fig. 14. Reacción en cadena de la energía atómica.

una *reacción en cadena*. La Fig. 14 ilustra el significado de este término con un esquema de los núcleos que intervienen en el proceso. Cuando un neutrón choca contra un núcleo atómico a la izquierda, el átomo emite dos neutrones que chocan contra otros átomos, cada uno de los cuales emite un par de neutrones que pueden bombardear otros cuatro átomos. Es-

te proceso denominado *fisión* se multiplica con velocidad increíble a pesar del hecho de que no todo neutrón acierta en bombardear uno o más núcleos, liberándose una cantidad enorme de energía en forma de calor y radiación. Sin embargo, una reacción en cadena no puede mantenerse a menos que exista presente un mínimo de material fisionable.

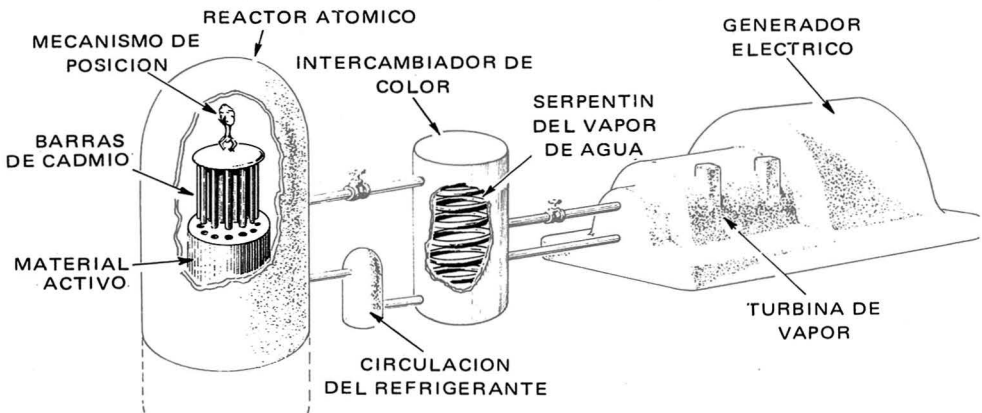


Fig. 15. Planta de energía atómica.

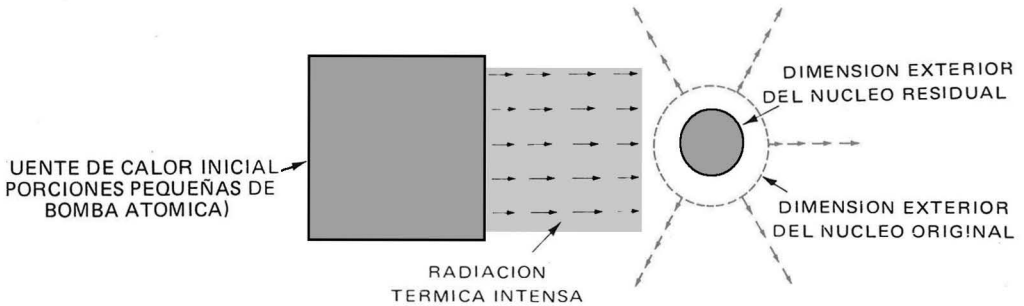


Fig. 16. Proceso de fusión en el núcleo atómico.

### Energía atómica útil

Se han desarrollado diversos métodos para utilizar las inmensas energías de la reacción en cadena para producir energía útil. La Fig. 15 muestra una central atómica formada por un reactor, un cambiador de calor, una turbina de vapor y un generador eléctrico. Un circuito de tubos de agua está expuesto en el cambiador a un "refrigerante" líquido o gaseoso bombeado desde el reactor. El calor del refrigerante transforma el agua en vapor y éste actúa sobre la turbina poniendo en marcha el generador.

La principal dificultad que tuvieron que vencer los experimentadores fue controlar la velocidad de la reacción en cadena para evitar que un ciclo destructivo súbitamente destruyera el reactor. Este peligro fue vencido mediante el uso de barras de *cadmio* que pueden bajarse o subirse en las proximidades de los tubos que contienen material activo, pues el cadmio tiene la propiedad de absorber los neutrones con gran rapidez. Si las barras bajan hasta el fondo la absorción de neutrones es tan completa que prácticamente no tiene lu-

gar la fisión. Si se elevan hasta una cierta posición elevada, la fisión se verifica hasta el máximo valor deseable. Las posiciones intermedias proporcionan valores intermedios de producción de calor y el mecanismo de posición se controla automáticamente según los requisitos de la carga.

### Fusión termonuclear

El término *fusión* se refiere a la destrucción parcial de un núcleo atómico, una porción del cual se transforma en energía pura. La Fig. 16 ilustra lo que significa este proceso; el volumen esférico de un núcleo se reduce desde su valor original a una dimensión más pequeña y el resto se convierte en energía. Para iniciar el proceso se requiere un calor intenso, y una vez iniciado se propaga con la misma increíble velocidad que una reacción en cadena.

La bomba de hidrógeno está basada en este principio y para iniciar su actividad se utiliza una bomba atómica. Aunque los investigadores trabajan sobre este problema no se conoce todavía ningún método de controlar la fusión para engendrar energía utilizable.

## CUESTIONES DE REPASO

1. ¿Qué es un elemento?
2. Distinguir entre átomos y moléculas.
3. ¿Qué es un protón?
4. ¿Cuál es generalmente la forma de una órbita atómica?
5. ¿Qué es una capa atómica?
6. El átomo normal de cobre ¿está cargado positiva o negativamente?
7. ¿Cuántos electrones existen en la capa externa del átomo de cobre?
8. ¿Cuál es la polaridad de un trozo de seda después de frotarlo con una barra de vidrio?
9. Establecer la regla de las atracciones y repulsiones electrostáticas.
10. Explicar la inducción estática y dar algunas de sus aplicaciones.
11. ¿Cómo puede disiparse la carga estática de una correa móvil?
12. ¿Cómo se combate en un quirófano de hospital el peligro de la carga estática?
13. Explicar el funcionamiento de un precipitador de polvos.
14. Explicar el funcionamiento de un generador electrostático de van der Graaf.
15. Describir brevemente el proceso Xerox.
16. ¿Qué es un ion?
17. ¿Qué porción del núcleo es activo en una reacción en cadena?
18. ¿Qué se entiende por reacción en cadena?
19. ¿De qué material están hechas las barras de control del reactor?
20. ¿Qué diferencia existe entre la fusión y la fisión?