

## **El dominio de la electricidad**

*Asdrúbal Valencia Giraldo\**

(Recibido el 14 de febrero de 2001)

### **Resumen**

Se resume la evolución del conocimiento sobre la electricidad desde la antigüedad hasta nuestros días, al mismo tiempo se describe el crecimiento de sus aplicaciones prácticas, vale decir de la industria eléctrica y sus consecuencias, técnicas, científicas, económicas y sociales.

----- *Palabras clave:* electricidad, energía eléctrica, industria eléctrica, ingeniería eléctrica, inventos.

## **The harnessing of electricity**

### **Abstract**

A brief summary is presented on the evolution of electricity knowledge from antiquity to our days. At the same time the growth of its practical applications, i. e. the electrical industry, is described, as well as its technical, scientific, economic and social consequences.

----- *Key words:* electricity, electrical energy, electrical industry, electrical engineering, inventions.

---

\* Departamento de Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, avalen@udea.edu.co.

## Introducción

Uno de los grandes logros de la ingeniería en el siglo XIX fue la introducción de un nuevo enfoque para sus avances: la aplicación de la ciencia. El crecimiento de la ingeniería eléctrica es un ejemplo sobresaliente de ese nuevo y revolucionario método [1]. El auge de la profesión de ingeniero electricista y el estudio académico de la electricidad acompañó el éxito de la industria de suministro eléctrico a partir de 1881.

Los cambios que la aplicación de la electricidad trajo al mundo en el siglo XX son tan enormes que en este ensayo apenas logran esbozarse. Ellos afectaron la situación y la concentración de las industrias y la organización detallada de la fábrica así como una multitud de servicios e instituciones interrelacionadas. Se transformaron las industrias metalúrgicas y se estimularon otras. La vida cotidiana y las costumbres se alteraron profundamente, como se resume al final.

Desarrollos previos, como las turbinas de vapor e hidráulica encontraron su mayor utilidad en las centrales eléctricas. La energía del agua no se podía utilizar en gran escala mientras la transmisión de la potencia dependiera de conexiones mecánicas. A diferencia del transporte a larga distancia del carbón, la electricidad, como el vapor en la distribución local, la electricidad es fácil de transmitir con pocas pérdidas de energía y a costos bajos. Los hilos de alta tensión de la corriente alterna pueden cruzar montañas por donde no pasaría ningún vehículo, y una vez instalada la energía eléctrica la tasa de deterioro es baja [2].

No es posible detallar la historia completa de los descubrimientos e invenciones que han creado la industria eléctrica, pero es importante notar la cronología de algunas de las invenciones estratégicas. La historia inicial de la electricidad se centra alrededor de varios tipos de acumuladores, pilas secas y baterías húmedas. El telégrafo y el teléfono se basaron en tales fuentes de energía y su perfeccionamiento cerró el primer período distintivo en la aplicación de la electricidad.

El próximo, estuvo marcado por el motor y el dínamo, y por la aplicación de la electricidad en la iluminación, el transporte y la industria. Los logros básicos son el dínamo-motor y el sistema de iluminación con una central eléctrica.

Sin embargo, como desde su inicio la ingeniería eléctrica se ha basado en la ciencia de la electricidad, es conveniente hacer un recuento histórico de ésta.

## La electricidad antes del siglo XIX

El ámbar amarillo, resina fósil procedente de vegetales antediluvianos, posee la curiosa propiedad de atraer cuerpos ligeros como pedacitos de papel, plumitas, bolitas de corcho, etc., cuando se frota con un trapo de seda o de lana. Esta propiedad, observada por Tales de Mileto en 500 a. C. y mencionada más tarde por Teofrasto (400 a. C.) y Plinio *el Viejo* (79 d. C.), es la única experiencia conocida de los tiempos remotos. Más propensos a las especulaciones metafísicas que curiosos de las cosas de la naturaleza, los antiguos filósofos no profundizaron en el fenómeno, y fue preciso llegar a fines del siglo XVI para que Gilbert, médico de Isabel y luego de Jacobo I de Inglaterra, analizara un hecho conocido entonces desde hacía dos mil años. La atracción eléctrica había llamado tan poco la atención que nadie se dio cuenta, hasta mediados del siglo XVI, de la repulsión que la sigue. El físico italiano Gerónimo Cardan (1501-1576) diferenció estos dos tipos de atracción, pero el fenómeno apenas fue estudiado de manera formal en el siglo XVII.

Guillermo Gilbert (1540-1603), descubrió que además del ámbar un gran número de cuerpos, entre ellos el vidrio y el azufre, gozan de la curiosa propiedad de ser capaces, por frotamiento, de atraer los cuerpos ligeros, y por neologismo derivado del *elektrón*, nombre griego del ámbar, designó dicho fenómeno con el nombre de electrización, y por una abstracción muy natural se llama electricidad a la causa misteriosa de esas atracciones.

Hacia 1730, primero el inglés Garay y luego el francés Cisternay du Fay, demostraron que todos los cuerpos son electrizables y que únicamente puede darse, a los mismos, dos electrificaciones, de forma que todo cuerpo repele al de igual electrificación que él y atrae en cambio a los cuerpos de electrificación contraria.

Estudiadas estas afinidades opuestas llevaron a la conclusión de la existencia de dos electrificaciones diferentes, llamadas vítrea y resinosa, la primera es la del vidrio y la segunda la del ámbar, de la seda y del papel. Pronto se vio que la realidad estaba lejos de ser tan simple, ya que los hechos demostraron que un mismo cuerpo puede tomar, según las circunstancias, una u otra electrificación [3].

Benjamín Franklin (1706-1790), para explicar estos fenómenos propuso una teoría que suponía la existencia de un fluido imponderable distribuido sobre todos los cuerpos, fluido que era atraído por la materia, aun cuando los elementos que debían componerlo se repeliesen mutuamente. Cuando un cuerpo contiene una cantidad normal de fluido eléctrico, no se manifiesta fenómeno alguno, lo que constituye el estado neutro, pero si se frotan una contra otras dos sustancias diferentes, la fricción determina un desplazamiento del fluido, del que cierta cantidad abandona uno de los cuerpos para pasar al otro.

El cuerpo que adquiere de esta suerte un aumento de fluido, manifiesta desde entonces las propiedades de la electrificación vítrea y se dice que está electrizado positivamente, en tanto que el que pierde una cantidad equivalente presenta las propiedades de la electrificación resinosa o negativa. De ahí los signos + y - empleados para señalar los dos modos de electrificación.

Esas ideas primitivas tienen su equivalente en la moderna concepción, donde se admite que cada átomo de un cuerpo, en estado neutro está formado por un núcleo cargado positivamente, alrededor del cual orbitan los electrones. Un exceso de éstos produce una electrificación negativa, en tanto que una pérdida hace aparecer la

electrificación positiva. Por su parte, en 1775, el físico alemán Hoch demostró que la electrificación podía producirse por influencia, sin que fuera necesario poner en contacto el cuerpo electrificado con el cuerpo que se electriza.

Hasta mediados del siglo XVII, el único medio conocido para producir electricidad era el de frotar contra un paño un cuerpo aislante, pero naturalmente los efectos obtenidos eran muy débiles.

La primera máquina para producir electricidad data de 1650 y fue creada por Otto von Guericke, quien ya se había dado a conocer con la famosa experiencia de los hemisferios de Magdenburgo, de cuya ciudad era burgomaestre. La máquina estaba constituida por una esfera de azufre, montada sobre un eje, al que una manivela imprimía un rápido movimiento de rotación; apoyando la mano o un trapo sobre el globo giratorio, éste se electrificaba lo suficiente para emitir fulgores visibles en la oscuridad.

Los efectos obtenidos eran débiles, pero en 1709 el físico inglés Hawksbee sustituyó el globo de azufre por un cilindro de vidrio, montado también sobre un eje que se hacía girar a gran velocidad. Poco tiempo después Ramsden, en Inglaterra, cambió ese cilindro por un disco del mismo material.

La esfera de vidrio de Hawksbee, como dispositivo para acumular electricidad, fue superada con los trabajos del físico holandés, Pieter van Musschenbroek (1692-1761). Este, en 1745, llenó de agua un recipiente metálico y lo suspendió de cordones aislantes de seda, un hilo de latón atravesaba un corcho y penetraba en el agua, introdujo luego una carga eléctrica en el agua, pero no se percató de cuánta se había acumulado hasta que un ayudante tocó el alambre que salía del corcho. El recipiente se descargó de la electricidad que había acumulado y le propinó al ayudante una tremenda sacudida. Este fue el primer choque eléctrico de alguna importancia que recibió un ser humano por medios artificiales [4].

En 1745, el obispo pomerano Ewald Georg von Kleist (1700-1748) produjo sin darse cuenta el mismo fenómeno de la condensación eléctrica; descubrió la fuerza de la carga al descargarse ésta accidentalmente en su mismo cuerpo.

Musschenbroek popularizó su dispositivo, utilizando como recipiente una botella, y como trabajaba en la Universidad de Leyden, en Holanda, el aparato acumulador de electricidad recibió el nombre de *botella de Leyden*.

La máquina de Ramsden, creada en 1768, todavía se utiliza: el disco de vidrio frota, al girar, dos juegos de cojines de cuero y pasa entre dos pares de peines metálicos, cuyas puntas atraen la electricidad positiva, en tanto que la negativa es recogida por una cadena unida a los cojines. Aunque se han construido muchas máquinas de frotamiento, la eficiencia es sensiblemente mejor en las máquinas de influencia o inducción, en las que dos discos de vidrio o ebonita giran en sentido inverso, muy cerca uno del otro; en sus caras exteriores llevan pegadas unas lengüetas de estaño, que frotran sucesivamente sobre pequeñas escobillas metálicas situadas en dos conductores diametralmente opuestos en ángulo recto uno del otro. Dos peines de latón rodean los discos y se conectan con dos esferas del mismo metal, que pueden separarse más o menos con la ayuda de una empuñadura aislante. A esos conductores, que constituyen los polos de la máquina, se unen —con hilos metálicos— los cuerpos que se van a electrizar. La descarga se puede intensificar con una botella de Leyden.

Si por medio de un hilo metálico, se ponen en contacto dos armaduras de un condensador, salta una chispa, acompañada de un chasqueo seco, que se hace muy ruidoso al reunir, por ejemplo en batería, varias botellas de Leyden de gran capacidad; la descarga puede hacerse también de manera menos ruidosa. Cuando un conductor termina en punta, la electricidad se escapa de éste y forma una corriente de aire. A la presión atmosférica normal, la descarga se manifiesta por una serie de chispas vivas y ruidosas, pero si

se enrarece el aire, el globo entero se ilumina con una luz difusa.

En resumen, al inicio del estudio de la electricidad hubo tres grandes hechos: la electrización por frotamiento; la electrización por inducción y la condensación o acumulación de la electrización.

Correspondió al físico francés Coulomb, que llevó a cabo interesantes estudios sobre el frotamiento, haber establecido la ley de la fuerza entre partículas electrizadas, que enunció de la siguiente forma: las atracciones o repulsiones entre dos partículas electrizadas son directamente proporcionales a la cantidad de su electrización e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que las separa, ley semejante a la ley de la gravitación de Newton [5].

Los hechos relatados se refieren a la electricidad en reposo o estática, pero ¿qué es lo que les relaciona entre sí? Franklin, al respecto, explicó que un cuerpo electrizado puede asimilarse a un depósito de agua. La cantidad de ésta es la imagen de la carga eléctrica del cuerpo, y el nivel de agua en el vaso simula el nivel eléctrico o potencial de la carga eléctrica. En fin, la sección del vaso permite formarse una idea de la capacidad eléctrica del cuerpo electrizado, de manera que esas tres magnitudes eléctricas: carga, capacidad y potencial se hallan ligadas de una forma sencilla; es decir, la carga es el producto de la capacidad por el potencial.

### **Invención de la pila**

Un acontecimiento fecundo y que revolucionó la ciencia eléctrica fue el descubrimiento de la pila por el italiano Alessandro Volta. Puede afirmarse que, hasta la invención de ésta la electricidad era una ciencia de laboratorio y que su descubrimiento abrió el dominio de las aplicaciones prácticas que permitieron someter a la industria, más tarde, al reino de la electricidad. El antecesor de Volta fue Luis Galvani, eminente profesor de anatomía de Bolonia. Dice la leyenda que la señora Galvani, cierto día de 1790, antes de prepa-

rar un plato de ancas de rana las situó, ya desolladas, sobre una mesa y observó con asombro que, precisamente la que estaba junto al escalpelo, sufría bruscas contracciones.

Inmediatamente se averiguó que las convulsiones coincidían con las descargas que producía la máquina eléctrica con la que Galvani experimentaba en la habitación contigua. Así fue como descubrió un hecho verdaderamente extraño: si se unían por medio de una lámina bimetálica, formada por un hilo de cobre empalmado a un hilo de zinc, los nervios lumbares de la rana a sus músculos cruciales, a cada contacto el animal era sacudido con violentos espasmos. Galvani creyó poder comparar el batracio a una botella de Leyden, cuyo hilo conductor produjera la descarga. El suceso fue ampliamente divulgado y las pruebas con ranas se multiplicaron [6].

Sin embargo, Volta se opuso a tal explicación y argumentaba que las contracciones no eran más que la consecuencia de otro fenómeno, que se empeñó en demostrar. En primer lugar, unió dos metales distintos al mismo filamento nervioso y comprobó que, igualmente, se producían contracciones. A continuación, valiéndose de un electroscopio muy sensible por él mismo diseñado, descubrió que tras unir un disco de cobre y otro de zinc y separarlos bruscamente, aparecían débiles cargas en los discos.

Volta preparó unos elementos compuestos de dos discos de metales diferentes, separados por un disco de fieltro humedecido. Los cuales apilaba uno encima de otro, y de ahí el nombre de pila, con que se ha venido designando desde su creación en 1799. Pero Volta, una vez inventada la pila, se afanó en hallar su mecanismo y sus efectos, y fue así como descubrió que los dos extremos de la pila tenían distintos tipos de electricidad. Volta fijó arbitrariamente el sentido de la corriente desde el primer cobre, correspondiente a la electricidad vítreo, hasta el último zinc, correspondiente a la electricidad resinosa. El primer cobre sería el polo positivo y el zinc el polo negativo de la pila.

Hasta el invento de Volta, los conocimientos se habían limitado a la noción de cantidad de elec-

tricidad o de carga directamente ligada a las atracciones y repulsiones propias de la electricidad estática, pero a partir de entonces se introdujo otro concepto, el de tensión o diferencia de potencial, por la analogía que se presenta con una diferencia de nivel.

Es a partir de ese momento, cuando la electricidad empieza a perfilarse como algo tangible, que influirá decisivamente en el desarrollo científico. La primera gran consecuencia fue el descubrimiento de la electrólisis, que impulsa definitivamente a la química en la búsqueda de nuevos elementos.

### Corriente eléctrica y magnetismo

En la discusión entre el físico Volta y el anatomista Galvani triunfaron las ideas del primero, que permitieron establecer el siguiente principio: el simple contacto entre cuerpos diferentes crea entre ellos una caída de potencial, una diferencia en nivel eléctrico.

Como se anotó, Volta unió los dos extremos de la pila con un hilo metálico y observó que se encontraba en un estado muy particular. En el momento del enlace saltaba una chispa en el punto de unión: como el hilo era bastante fino, no tardó en irse enrojeciendo, llegando incluso a ponerse incandescente, como si al unir los dos polos lo expusiera al mismo calentamiento que en un horno.

Ese mismo hilo de conexión, aproximado a una aguja imantada la influía como si se tratara de un imán, de modo que la aguja se orientaba perpendicular al hilo. Finalmente, si se sumergen en una vasija con agua los dos hilos provenientes de cada polo de la pila, el líquido se descompone en sus elementos: hidrógeno, que envuelve con finas burbujas el conductor unido al último disco de zinc (polo negativo), y oxígeno, que se desprende alrededor del otro hilo conectado al último disco de cobre (polo positivo) [7].

He aquí pues cómo el hilo conductor, por el solo hecho de unir los polos de la pila, es capaz de producir acciones caloríficas y luminosas, estudiadas posteriormente por Joule; acciones mag-

néticas, descubiertas por Oersted y estudiadas por Ampère; y acciones químicas, cuyas leyes se deben a Faraday.

Asimilando lógicamente esas nuevas manifestaciones a una botella de Leyden, pues el contacto simultáneo de los dos polos provocaba una conmoción análoga a la descarga de aquella, los físicos consideraron ese hilo de unión como una sede de corriente eléctrica. La pila, y esto es lo que la diferencia de la botella de Leyden, se halla siempre apta para producir conmoción, es decir, es como una botella de Leyden constantemente cargada; por esta razón se suelen asimilar los dos polos a dos depósitos de agua de nivel constante y de ahí que la energía que puede proporcionar una corriente en un tiempo dado, se mida como la energía de una caída de agua. Al igual que esta última viene dada por el producto del peso de agua arrastrada y la diferencia de nivel, la energía de la corriente se expresa por el producto de la cantidad de electricidad, que se supone gastada, y la diferencia de potencial existente entre los polos de la pila; de forma que las palabras corriente eléctrica y caudal, así como todas las denominaciones que datan de aquella época, se resienten de la idea entonces reinante, que supone que el hilo de unión de la pila viene a ser como un canal en el que se produce una circulación constante del fluido eléctrico.

En general los fenómenos se interpretaban como si fueran debidos al reposo o circulación de un fluido hipotético; así lo consideraron Volta y Franklin. La carga de un cuerpo electrizado es como cierta masa de ese fluido y el conductor interpuesto entre los polos de una pila se halla recorrido por una corriente del mismo.

## **La revolución de la electricidad en el siglo XIX**

### ***El electromagnetismo***

Existen muchas semejanzas entre la electricidad y el magnetismo. Por esta razón, algunos cientí-

ficos pensaron que podía existir una relación entre los dos fenómenos. En 1820, el físico danés Hans Christian Oersted (1777-1851) publicó los resultados de un experimento.

Como parte de una demostración en la Universidad de Copenhague, en la que utilizó una batería de 20 pilas, acercó la aguja de una brújula al alambre por el que circulaba corriente. La aguja dio una sacudida y no apuntó ni a la corriente ni en sentido contrario a ésta, sino en una dirección perpendicular.

Oersted no ahondó en su descubrimiento, pero otros sí lo estudiaron. Antes de que acabara el año, el físico francés André-Marie Ampère (1775-1836) dispuso dos alambres paralelos, uno de los cuales podía moverse libremente. Cuando ambos alambres transportaban corriente en la misma dirección se atraían en forma clara y si la corriente fluía en direcciones opuestas, el alambre móvil describía un semicírculo. Así se descubrió la electrodinámica. Resultaba manifiesto que los alambres que transportaban una corriente eléctrica mostraban propiedades magnéticas.

Ampère demostró también que una corriente que fluye a través de un alambre dispuesto en forma de espiral (como un resorte), sistema llamado solenoide, reforzaba el efecto magnético por cada vuelta del alambre. Estaba claro que la espiral actuaba como un imán, con un polo norte y un polo sur. Encontró que no había experiencia alguna realizable con imanes que no fuera posible reproducir sirviéndose de solenoides.

Al usar el electroimán, Ampère no sólo asentó los cimientos de industrias poderosas, sino que posibilitó la realización del telégrafo y el teléfono, con hilos primero y posteriormente inalámbricos, amén de infinidad de aplicaciones que invaden los campos de la actividad humana.

En el mismo año, 1820, otro físico francés, François Arago (1786-1853), demostró que si una corriente atravesaba un alambre de cobre, éste podía atraer limaduras de hierro con tanta facilidad como un imán ordinario [8].

El físico alemán Johan Salomo Christoph Schweigger (1779-1857) comprobó que la desviación de la aguja en el experimento de Oersted podía emplearse para medir la fuerza de la corriente. Con arreglo a este principio construyó el primer galvanómetro. Otro francés, Jacques Arsene d'Arsonval construyó el primer galvanómetro de bobina móvil que obtuvo popularidad.

Dos años después del experimento de Oersted, el físico ruso-germano Thomas J. Seebeck (1770-1831) descubrió que entre la electricidad y el calor también hay relación, al observar que si dos metales diferentes se unen por dos puntos o caras, y estos dos puntos de unión se mantienen a temperaturas distintas, pasará una corriente eléctrica continua a través del circuito conectado a los dos metales; es lo que se denomina termoelectricidad y una fuente de los ruidos térmicos o señales parásitas indeseadas que hoy afectan los equipos eléctricos y electrónicos [9].

El ohmio fue llamado así en honor al físico alemán, Georg Simon Ohm (1787-1854), quien descubrió y publicó en 1827 la ley que hoy lleva su nombre: "El flujo de corriente a través de un conductor es directamente proporcional al voltaje entre sus extremos, e inversamente proporcional a la resistencia del material"; o sea: intensidad = voltaje/resistencia, relación que el físico y químico Henry Cavendish (1731-1810) había descubierto casi medio siglo antes, pero nunca publicó.

A principios del siglo XIX, Sir Humphrey Davy (1778-1829) era el químico inglés de más prestigio. Había descubierto el arco voltaico y, aplicando la electroquímica, ocho elementos nuevos. Gran divulgador y conferenciante cierto día recibió una extensa y cuidadosa recopilación de sus últimas charlas en la Royal Society, el autor de estas notas era un joven aprendiz de encuadernador que estaba muy interesado en temas científicos. A Davy le agradó aquel trabajo y le ofreció un puesto de ayudante. Sir Humphrey acababa de hacer el mayor descubrimiento de su vida, porque aquel muchacho se llamaba Michael Faraday (1791-1867) [10].

Cuando conoció el trabajo de Oersted, Faraday estaba ya fascinado por los imanes, empezó su labor de inmediato y puso en funcionamiento un circuito eléctrico que consistía en dos alambres y dos imanes. En un caso, el alambre estaba fijo y el imán era móvil; en el otro, el imán permanecía fijo, mientras el alambre era móvil. Cuando la corriente atravesaba el alambre, el móvil tendía a aproximarse al imán fijo, y el imán móvil se desplazaba hacia el alambre fijo. De esa manera Faraday demostró, por primera vez, que las fuerzas magnéticas pueden producir movimiento.

El experimento impulsó a Faraday a considerar que el magnetismo se extendía más allá de su punto de origen, y que se debilitaba con la distancia. Podían trazarse líneas imaginarias tangentes a la intensidad magnética: serían las líneas de fuerza. En torno a un alambre por el que circulaba corriente, las líneas de fuerza eran círculos concéntricos, y esto producía el movimiento circular.

Faraday, además, quería averiguar si el efecto estudiado por Oersted se podía realizar en sentido inverso, o sea que un imán podía inducir corriente eléctrica. Para lograr su propósito, Faraday utilizó un anillo de hierro. En 1831, enrolló una bobina de alambre en torno a una porción del anillo y la conectó a una pila. El circuito podría abrirse o cerrarse mediante una llave. Si lo cerraba, la corriente fluiría, y se crearía magnetismo; éste se concentraría en el anillo de hierro. Si una segunda bobina se enrollaba en otro segmento del anillo y se conectaba a un galvanómetro, el campo magnetico creado en el anillo podía producir una corriente en la segunda bobina, y el galvanómetro registraría su presencia.

El experimento fue un éxito. Faraday había ideado el primer transformador eléctrico y descubierto la inducción electromagnética. Pero no resultó como él esperaba. No había corriente continua que igualara la continua presencia del campo magnético. En lugar de eso, se producía una momentánea variación brusca de la corriente, que se reflejaba en una sacudida de la aguja del galvanómetro cuando cerraba el circuito, y en una

segunda variación brusca en dirección opuesta cuando se abría el circuito.

Faraday explicó este fenómeno mediante las líneas de fuerza que había visualizado. Cuando el circuito se energizaba y se establecía con ello la corriente eléctrica, las líneas magnéticas de fuerza salían al exterior, atravesaban la segunda bobina, cortaban sus espiras y les inducían una corriente eléctrica. Cuando el circuito se reabría, las líneas magnéticas de fuerza se replegaban y atravesaban de nuevo la segunda bobina, induciendo una corriente eléctrica en la dirección opuesta. Cuando las líneas magnéticas se mantenían en su lugar debido a que la corriente de la primera bobina fluía uniformemente, a las espiras de la segunda bobina no las cortaba línea alguna y no se inducía en ella corriente.

Faraday siguió con sus trabajos e ideó una manera de cortar continuamente las líneas de fuerza en el metal. Hizo girar una rueda de cobre de manera que su borde pasara entre los polos de un imán permanente en forma de herradura. Mientras la rueda de cobre giraba, su reborde cortaba continuamente las líneas de fuerza y una corriente eléctrica fluía continuamente a la rueda. Esta corriente podía dirigirse al exterior y convertirse en trabajo. De esta manera, Faraday inventó el generador eléctrico o dínamo.

Hasta entonces la corriente la habían producido solamente las pilas, lo que significaba que la electricidad se obtenía por la reacción de metales como el zinc. O sea que resultaba cara y su cantidad era limitada.

Para hacer girar la rueda de cobre destinada a cortar las líneas magnéticas de fuerza se requería un trabajo considerable, y éste era lo que se convertía en electricidad. Si se accionaba la rueda mediante fuerza muscular poca sería la energía generada. Sin embargo, podía hacerse girar, y con el tiempo así se hizo, con una máquina de vapor. Esto significaba que la electricidad se lograba mediante la combustión o sirviéndose de otras copiosas fuentes de energía, como un salto de agua o la fuerza del viento.

Más adelante, cuando el dispositivo estuvo perfeccionado, la electricidad pudo generarse a bajo precio y en la cantidad deseada. Después del perfeccionamiento del generador y el motor el desarrollo de la industria eléctrica procedió rápidamente, y antes de 1880 se habían alcanzado los primeros logros en iluminación, producción de potencia y tracción.

Faraday no se equivocó al considerar que el fenómeno de la inducción era debido a la transmisión de una energía por ondulaciones del circuito exterior sobre el circuito inducido, transmisión análoga a la del movimiento hipotético de un cuerpo luminoso sobre el ojo. Pero para aquella transmisión precisaba indicar el mecanismo, lo que fue la obra teórica de James Clerk Maxwell (1831-1879). Éste, al contrario de Faraday, realizó estudios clásicos en matemáticas y física, fue capaz de traducir los conceptos de Faraday al lenguaje matemático en 1855 y demostró que la captación intuitiva de éste sobre las líneas de fuerza era absolutamente correcta [11].

Conviene puntualizar que Maxwell finalizó su trabajo más importante en 1865, cuando terminó de idear una serie de ecuaciones (*ecuaciones de Maxwell*), sencillas en su forma, que expresaban toda la variedad de fenómenos de la electricidad y el magnetismo, y los vinculaban indisolublemente. Maxwell demostró que la electricidad y el magnetismo no existían por separado, sino que la una era un aspecto inevitable del otro.

Maxwell aportó pruebas de que la oscilación de una carga eléctrica producía un campo electromagnético que se irradiaba a partir de su fuente a velocidad constante. Esta velocidad podía calcularse mediante las ecuaciones, y coincidían con la velocidad de la luz. Por ello, Maxwell sostuvo que la luz era una forma de radiación electromagnética, que las longitudes de onda de esa radiación dependían de la oscilación de la carga, y que podían ser cualesquiera, lo que fue confirmado dos décadas después.

### **El alumbrado eléctrico**

Una de las grandes aplicaciones de la electricidad ha sido en la iluminación; en 1801 Davy había descubierto que podía producir una chispa brillante o arco entre dos barras de carbono, ligeramente separadas en un circuito de batería. Sin embargo, la pila de Davy no era lo suficientemente potente como para producir un arco estable y continuo. En 1820, De la Rue también utilizó la luz incandescente al usar una bobina de alambre de platino y un tubo de vidrio. Después de ello, la lámpara incandescente acaparó la atención de muchos inventores. Se ensayaron tiras y barras de platino, iridio y grafito con un globo, con vacío o sin él. Fue en 1863, después de una instalación de ensayo de una luz de arco en el faro de Dungeness, en el sur de Kent, Inglaterra, en 1862, cuando se hizo la primera aplicación práctica de las luces de arco en uno de los faros cerca de Le Havre, Francia. Sin embargo, la iluminación no fue comercialmente factible hasta más de una década después, cuando la electricidad se abarató con generadores más eficientes.

Mientras trabajaba en París, en la empresa que fabricaba los generadores Gramme, el ruso Paul Jablochhoff (1847-1894) inventó en 1876 la lámpara Jablochhoff de luz incandescente. Esta lámpara estaba constituida por dos barras de carbono, una al lado de otra pero aisladas entre sí por caolín, que se evaporaba a medida que las barras se quemaban. Como una barra de carbono se gasta más rápidamente cuando se usa corriente directa, Gramme diseñó un generador de corriente alterna para usarlo con la luz de Jablochhoff, la primera de las cuales apareció en las calles de París. Comparadas con las lámparas de gas existentes, eran tan brillantes que el sistema fue adoptado por muchas ciudades europeas.

Charles Francis Brush (1849-1929) de Cleveland, instaló el primer sistema de alumbrado público con lámparas de arco en Cleveland, en 1879, y otro en Nueva York en 1880. El sistema de Brush era más satisfactorio que el de Jablochhoff, porque su lámpara duraba el doble del tiempo antes

de tener que cambiarle las barras de carbono. Brush también diseñó un generador donde el voltaje era variable y estaba controlado por la carga mientras la corriente permanecía constante. Para regular el arco de la lámpara, mientras el carbono se quemaba, Brush inventó un embrague automático que mantenía los extremos de las barras a distancia constante. Muchas ciudades grandes de Estados Unidos instalaron el sistema de Brush a principios de la década de 1880. La luz de arco fue popular en la iluminación callejera y en grandes áreas interiores hasta muy entrada el siglo XX.

Thomas Alva Edison (1847-1931) empezó a trabajar con la lámpara incandescente en 1877. No fue el primero en tratar de desarrollar la lámpara incandescente, pues ya se vio que tal lámpara había sido ensayada en 1820 y en los siguientes cincuenta años muchos trabajaron en ella, entre ellos Joseph Wilson Swan (1828-1914) en Inglaterra, quien había fabricado lámparas de distinto tipo. Sin embargo, Edison fue el primero que desarrolló un diseño de lámpara incandescente adecuado para la fabricación en grandes cantidades. Cuando Edison empezó sus trabajos, se sabía que las luces de arco eran demasiado brillantes para usarlas en los hogares, por tanto, trató de producir una lámpara que diera una luz suave y menos intensa. El estudio experimental parecía indicar que el carbono en todas sus formas era un fracaso, de modo que el primer trabajo estuvo basado en el platino; en octubre de 1878 se solicitó la patente de la primera lámpara, que incluía un termostato para controlar corrientes demasiado elevadas [12].

Edison construyó varias lámparas, sin éxito, y por tanto concentró su atención en el diseño general del circuito de iluminación. En realidad, este era un problema tan complicado como la luz misma, pues todos los sistemas con luz de arco estaban conectados en serie, de modo que todas las lámparas debían operar continuamente y la falla o el apagado de una lámpara apagaba todo el circuito. Edison concibió el circuito en paralelo y trabajó en todos los detalles primarios del circuito; con ello redefinió el problema de la lámpara, pues

no se puede asegurar una iluminación adecuada si la resistencia de aquella no se elevaba por encima de los límites conocidos antes. Se ensayó con una lámpara de platino en abril de 1879, pero exigía una cantidad desproporcionada de corriente y tuvo una vida muy corta.

En el otoño de 1879 Edison retornó al carbón y se propuso utilizar un filamento muy fino, ya que todos los ensayos previos con carbono se habían basado en barras relativamente gruesas o cintas de papel carbonizado. El nuevo concepto fue, en parte, un resultado del razonamiento basado en los requerimientos del circuito de alumbrado propuesto; pero fue, además, una situación curiosa, pues incluía la repetición de experimentos que parecían haber llevado sólo al fracaso.

El problema técnico de preparar filamentos finos presentaba muchas dificultades; los experimentos iniciales se basaban en tratar secciones de algodón de coser en un horno preparado especialmente. Cuando se produjeron varios, se fijaron en globos de vidrio que se habían vaciado de aire con una bomba de mercurio. Sin embargo, antes de sellar los globos Edison dio un paso más, pues había concluido que los gases quedaban atrapados en el carbono mismo y que si se dejaban permanecer se liberarían con el calor oscureciendo el globo y reduciendo la eficiencia de la lámpara. Por tanto, el filamento se calentó ligeramente pasando corriente, y tomó casi ocho horas eliminar los gases.

El primer filamento de carbono fue demostrado en el laboratorio en Menlo Park, el 21 de octubre de 1879. La lámpara alumbró establemente durante casi dos días. Los detalles de la preparación de los filamentos se estudiaron a fondo y finalmente se prepararon de cartulina, los que dieron centenares de horas de vida. El anuncio público de la invención se hizo en el *Heraldo de Nueva York* el 21 de diciembre de 1879 y se organizó una demostración en Menlo Park. Sesenta lámparas se colgaron de palos en los jardines del laboratorio y en algunas casas. La patente fue solicitada el 4 de noviembre de 1879 y otorgada el 27 de enero de 1880 [13].

### **Las centrales eléctricas**

La primera instalación comercial de la iluminación fue en el vapor *Columbia*, de la Oregon Railway and Navigation Company. La planta se inició el 2 de mayo de 1880, con ciento quince lámparas y estuvo en operación unos quince años sin cambios substanciales. En tierra, la primera instalación comercial (1881) fue en el taller litográfico de Hinds, Ketchum and Co., en Nueva York. La primera planta de servicio público fue puesta en operación en Appleton, Wisconsin, en 1881, y en 1882 se establecieron plantas centrales en Nueva York, Londres, Sunbury (Pensilvania) y Milán.

En esas plantas centrales, Edison se percató del concepto que había dominado todo su trabajo con la luz, y su logro esencial fue esta combinación de aparatos eléctricos en un sistema coordinado para la producción y distribución de la electricidad. Captar un concepto tan clave implicó gran percepción y esfuerzo de crítica, pues cada fase del trabajo creaba nuevos problemas. Los dínamos incluían muchas características nuevas; las técnicas de alambrado había que desarrollarlas; se requerían medidores; debían diseñarse herrajes y por último, pero no menos importante, la máquina de vapor necesitaba mejoras para aumentar la regularidad de su operación.

Una vez dominado esto se inició la construcción de centrales eléctricas en todo el mundo, la producción en esta escala fue posible por al desarrollo de la transmisión a larga distancia de corrientes alternas con voltajes elevados, técnica perfeccionada por William Stanley, ingeniero jefe de la Westinghouse Company, quien diseñó un eficiente sistema de distribución de corriente alterna que se instaló en Great Barrington, Massachusetts. La Westinghouse instaló una planta similar en Búfalo, en 1886, y así el sistema de corriente alterno de la Westinghouse se constituyó en un fuerte competidor del sistema de corriente continua de Edison, instalado en muchas localidades.

Mientras los motores y conversores se iban perfeccionando, la lámpara incandescente de carbo-

no se iba mejorando continuamente y ello culminó con la introducción de la lámpara de filamento de carbono metalizado, la lámpara GEM (General electric metallized) en 1905. Estas lámparas se fabricaron hasta 1918 cuando fueron superadas por las de tungsteno, inventadas por Alexander Just y Franz Hanamann de Viena, en 1902, y se usaron para alumbrado público en 1907; una lámpara mejorada con filamento de alambre trefilado apareció en 1911, ambas eran de tubos al vacío. Grandes bombillas de tungsteno llenas con nitrógeno se produjeron por primera vez en 1913, pero las lámparas llenas con gas sólo estuvieron disponibles para el uso doméstico después de 1918. Las siguientes bombillas estaban llenas con 85% de argón y 15% de nitrógeno. A partir de entonces no ha cesado su perfeccionamiento.

A fines del siglo XIX había en Estados Unidos tres grandes empresas suministradoras de energía eléctrica: la Edison General Electric Company, la Thomson-Houston Company y la George Westinghouse Company. Elihu Thomson era un abnegado inventor en el terreno de la electricidad, mientras que Westinghouse era un ingeniero capaz y versátil. En 1894, la Edison Company y Thomson-Houston se fusionaron, dejando a Westinghouse como firma rival. En Europa, las compañías principales fueron la Siemens-Halske, empresa fundada por otro polifacético inventor, S. Shukert, y la firma austrohúngara de Ganz (Budapest). Los hermanos Siemens fundaron también empresas independientes en Gran Bretaña y Rusia. Al aparecer estas grandes empresas, algunas "multinacionales", la electricidad se convirtió en una tecnología avanzada, caracterizada por la sustitución del inventor empírico por el ingeniero electricista.

### **Otras industrias basadas en la electricidad**

Un invento oportuno por lo que respecta a la creciente industria del suministro eléctrico fue el del proceso para la extracción del aluminio por electrólisis del mineral, la bauxita (1886). El procedi-

miento fue inventado simultánea e independientemente por el estadounidense Charles Martin Hall (1863-1914) y el francés Paul-Louis Toussant Heroult (1863-1914), quienes más tarde unieron sus fuerzas para perfeccionarlo con el nombre de procedimiento Hall-Heroult.

El aluminio, hasta entonces un metal semiprecioso, se pudo conseguir en grandes cantidades, lo cual tuvo dos efectos sobre la industria de suministro eléctrico. El proceso de extracción dependía de corrientes eléctricas muy potentes; era, por tanto, un excelente cliente para dicha industria. Por otra parte, el aluminio —fuerte, ligero, resistente a la corrosión y excelentes propiedades eléctricas— resultó ideal para la construcción de líneas de transmisión.

La posibilidad de usar motores eléctricos para impulsar locomotoras por vías férreas había suscitado poco interés, una vez se conocieron las limitaciones de la batería eléctrica como fuente de energía. La invención de la central eléctrica renovó, sin embargo, las especulaciones sobre las posibilidades de las locomotoras eléctricas. En 1879, Siemens y Halske mostraron un ferrocarril de vía estrecha para el transporte de pasajeros, en la exposición de Berlín. Se tendieron trescientos metros de rieles en un trazado oval y la corriente se tomó de uno de los rieles de marcha y de un tercero. En 1880, los dos empresarios construyeron un ferrocarril, o tranvía permanente de corta distancia, en Lichterfelde. Pero el inicio efectivo del ferrocarril eléctrico tendría lugar en Richmond, Virginia, en 1881. Frank J. Sprague (1857-1934), que fue ayudante de Edison, se puso a la tarea de desarrollar tranvías eléctricos y en 1888 inauguraba en Richmond un sistema Sprague para tranvías eléctricos.

### **La electricidad en el siglo XX**

Hacia 1900, ya habían aparecido los principales rasgos de la industria moderna de suministro eléctrico: la generación central de corriente alterna de alta tensión que podía ser reducida para uso local. Había, no obstante, considerables variaciones en la frecuencia de suministro y en la

elección de las tensiones locales; además, las instalaciones de corriente continua seguían existiendo. Una de las principales tareas de la industria del siglo XX era lograr el alto grado de estandarización con el fin de permitir un uso universal de los aparatos eléctricos. A comienzos del siglo habían aparecido la mayoría de los aparatos familiares hoy en día: la electricidad se usaba para la calefacción, para cocinar y —sobre todo— para el alumbrado. Sin embargo, aunque habían aparecido los rasgos esenciales, el impacto social era pequeño, era todavía demasiado nueva en la mayor parte del mundo. Aquí es necesario señalar que en Colombia hubo iluminación eléctrica en Bogotá, Panamá, Colón, Barranquilla y Cartagena desde finales de la década de 1880, y que el Concejo Municipal de Medellín recibió ofertas para establecerla desde 1885, aunque apenas se inauguró el 7 de julio de 1898 [14].

En el transcurso del primer medio siglo, el crecimiento de la industria fue espectacular. En 1925 la eléctrica representaba el 7% del consumo mundial de energía primaria, en 1950 era el 14% y en 1970 el 25%. Un ejemplo es la expansión de la industria de suministro eléctrico en Gran Bretaña durante la primera mitad del siglo XX pasó de existir en 12% de los hogares en 1920 a un 80% en 1950 y un 96% en 1960. En el mismo período el consumo doméstico se multiplicó por cincuenta, y en 1950 un tercio de toda la electricidad empleada en Gran Bretaña era consumido en los hogares.

En el transcurso del siglo se perfeccionaron la generación, la distribución y las aplicaciones de la electricidad; con la llegada de la electrónica los aparatos fueron más eficientes y los controles mucho mejores. La expansión de la electricidad continuó en todo el mundo y hasta en los países más atrasados llegó a muchos rincones.

Pero no solamente la energía eléctrica generada mecánicamente tuvo desarrollos, también los tuvieron las baterías, de las cuales hay dos tipos fundamentales: la pila primaria que sólo se puede usar una vez, y la pila secundaria o acumulador, que se puede cargar repetidamente. Ambas pro-

ducen sólo corriente continua. Durante la primera mitad del siglo XX, la batería primaria más frecuente era del tipo Leclanché. Los acumuladores eran principalmente de plomo. Después de la Segunda Guerra Mundial los desarrollos en ambos tipos de baterías han sido también espectaculares y hoy se tiene amplia gama de esos productos [15].

## Conclusión

El siglo XVIII representó en la historia de la electricidad un sensible progreso, ya que fue durante esa centuria que tuvieron lugar los grandes descubrimientos que dieron origen al electromagnetismo y a la electrodinámica, y con pocas excepciones los creadores de aquéllos fueron europeos. Esos descubrimientos científicos fueron aprovechados por la técnica del siglo XIX en aplicaciones prácticas; así nació el alumbrado público, la transmisión de energía a distancia, el motor eléctrico, el tranvía eléctrico, la electrólisis, el telégrafo, el teléfono, el paso de la electricidad a través de los gases enrarecidos, las diversas radiaciones de las descargas, los rayos catódicos, los rayos X, invenciones todas que transformaron las condiciones de vida. En este sentido los genios de Estados Unidos no fueron tan activos en la investigación fundamental, como sí lo fueron en el desarrollo de la ingeniería, la ingeniería de producción y la ingeniería de servicio, todo lo cual permitió la construcción de la mayor industria eléctrica del mundo en ese país.

Así pues, a partir del siglo XIX la electricidad, al extender por todas partes su dominio, abre horizontes cada vez más vastos no sólo a la ciencia sino a la tecnología y después a sus aplicaciones utilitarias, afirmando cada vez más su gran preponderancia. Pero esto no se vislumbró al principio; todavía en 1883, Osborne Reynolds, amigo, compañero y primer biógrafo de Joule, se equivocó completamente en sus previsiones sobre la electricidad, al no considerar sus posibilidades como el más eficaz transmisor de energía. En cambio, Friedrich Engels, que no era ingeniero, predijo que la electricidad de alto voltaje podría transmitir

eficientemente energía a grandes distancias y que este hecho revolucionaría la industria.

La electricidad es una energía secundaria, esto es, no se obtiene directamente de la naturaleza, sino que se genera a partir de fuentes de energía primaria como el carbón, el petróleo, el gas o la fuerza hidráulica. En vista de ello, lo más importante de la industria eléctrica, desde la óptica del análisis económico y que fue conocido desde sus inicios por los capitalistas, son las grandes oportunidades de inversión que ofrece su desarrollo [16].

Las consecuencias de la electricidad sobre la industria, la economía y la sociedad en general serían temas de largos análisis sociológicos y antropológicos; la sola iluminación nocturna cambió tantos conceptos e incluso destruyó tantos mitos, que su ausencia es inimaginable hoy, a pesar de que los apagones nos lo hacen sentir a veces.

El siglo XX contempla el advenimiento de una nueva era con la puesta en evidencia del electrón, gracias al cual se atribuirá a la electricidad, como a la materia, una estructura granular. La electricidad y la electrónica originan la radio, la televisión, las comunicaciones, el computador y los robots, y de entonces se hace muy difícil recoger, ni siquiera en resumen, la historia de esta ciencia, esta tecnología y esta industria.

## Referencias

1. Kirby, Richard Shelton et al. *Engineering in History*. Dover, New York, 1990.
2. Cardwell, Donald, *Historia de la Tecnología*. Alianza, Madrid, 1996.
3. Vidal Montañó, Manuel, *Enciclopedia de la electricidad*. Editorial de Gassó Hermanos, Barcelona, 1960.
4. Asimov, Isaac, *Cronología de los descubrimientos*. Ariel, Barcelona, 1991.
5. Mejía, Aurelio, "Del ámbar a las comunicaciones". En: *Electrónica fácil*. No. 40, julio, 1988. p. 9.
6. Jiménez Martínez, Joaquín L., "Curiosidades en la historia de la electricidad y la electrónica". En: *Mundo electrónico*. No. 142. 1984. p. 127.
7. Usher, Abbot Payson, *A History of Mechanical Inventions*. Dover, New York, 1982.
8. Asimov, Isaac, *Introducción a la ciencia. Ciencias físicas*. Ediciones Orbis, Barcelona, 1985.
9. Rovira, R. *Los grandes inventores modernos*. Editorial Difusión. Buenos Aires, 1945.
10. Restrepo Rivas, Luis Guillermo. "A 120 años de Michael Faraday", En: *Electrónica fácil*. No. 39. p. 7.
11. Trevor, William, *Historia de la Tecnología*. Siglo XXI. México, 1998.
12. Sanz, A., *La historia de los inventos y el progreso técnico*. Editorial Kapelusz. Buenos Aires, 1973.
13. Derry, T. K. Y Trevor I. Williams. *Historia de la Tecnología. Desde 1750 hasta 1900*. Siglo XXI. México, 1984.
14. Ospina, E. Livardo. *Una vida, una lucha, una victoria*. Empresas Públicas de Medellín. Medellín, 1966.
15. Trevor, William. *Op. cit.*
16. Cazadero, Manuel. *Las revoluciones industriales*. Fondo de Cultura Económica. México, 1995.

## **INSTRUCCIONES PARA QUIENES DESEEN PUBLICAR ARTÍCULOS EN LA REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA**

1. Presentar, en español o inglés, trabajos inéditos.
2. Los artículos no deben exceder de 25 páginas en tamaño carta y a doble espacio, con márgenes simétricas de 2,5 cm.
3. El título del artículo debe estar en inglés y en español.
4. Se debe acompañar el artículo con un resumen, abstract, no mayor de 15 renglones, en español e inglés, y una lista de palabras clave en español e inglés.
5. Informar los datos del autor: nombre, número de fax o correo electrónico, nombre de la institución donde labora y cargo o función que desempeña, para el reconocimiento de los créditos respectivos.
6. Entregar una copia impresa del artículo, digitado en Word (97 ó 2000), y el disquete correspondiente debidamente marcado.
7. Instrucciones especiales para la digitación:
  - a) El texto debe digitarse sin formato, en letra Times New Roman de 12 puntos.
  - b) Los párrafos se justifican, sin dejar espacio entre los consecutivos y sin partir las palabras.
  - c) No dejar más de un espacio entre palabras; después de coma, punto y coma, dos puntos, paréntesis y punto y seguido, se debe dejar un solo espacio.
  - d) No incluir saltos de página o finales de sección.
  - e) Los guiones tipográficos deben ser largos y tocar la palabra adjunta: —, pero el que se usa entre palabras y números es el del teclado, y sin dejar espacios, ejemplo: físico-químico, 1999-2000.
  - f) Los títulos se digitan como un párrafo cualquiera, antecediéndolos de los símbolos #0, #1, #2, de acuerdo con su nivel jerárquico; el #0 es para el de mayor importancia.
  - g) Las ecuaciones se levantan en el procesador incluido en Word, en letra Times New Roman de 12 puntos.
  - h) Los símbolos de las constantes, variables y funciones, en letras latinas o griegas, incluidos en las ecuaciones, deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación.
  - i) Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino cursiva.
  - j) Las figuras deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden.
  - k) El título de las figuras se digita como un párrafo ordinario fuera de la figura.
  - l) No se presentan cuadros sino tablas y éstas no incluyen formatos.
  - m) Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con punto; y los millares y millones con punto.
  - n) Se deben utilizar las unidades, dimensiones y símbolos del sistema internacional, SI.
  - o) No usar colores ni en gráficos ni en figuras.
8. Las citas, referencias bibliográficas y hemerografías se incluyen al final del artículo, en la siguiente forma:

- a. Las referencias bibliográficas y notas deben numerarse en forma ascendente, de acuerdo con su aparición en el texto, e incluir el apellido y el nombre del autor, el título de la obra en cursiva, el lugar de edición, la editorial, el año de edición y las páginas de referencia. Ejemplo:
    1. Foucault, Michael. *Un diálogo sobre el poder*. Madrid. Alianza. 1981. p. 135.
  - b. Presentar las referencias hemerográficas en el siguiente orden: el apellido y el nombre del autor, el título del artículo entre comillas, el nombre de la revista o periódico en cursiva, el volumen, el número, el lugar de edición, la fecha de publicación y las páginas de referencia. Ejemplo:
    2. Salcedo, Salomón. "Política agrícola y maíz en México: hacia el libre comercio norteamericano". En: *Comercio Exterior*. Vol. 43. No. 4. México D. F. Abril, 1993.
  - c. En caso de que las referencias bibliográficas o las hemerográficas tengan más de dos autores, se debe usar la forma siguiente: el nombre del autor que aparezca en la publicación en primer lugar, seguido de la expresión et al. (que significa "y otros") en cursiva y se continúa con los datos ya explicados para la bibliografía y la hemerografía.
  - d. En caso de una referencia tomada de Internet se debe escribir el nombre del URL del sitio.
  - e. El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, mediante un número entre corchetes, al nivel del texto y separado de la palabra anterior por un espacio. En la misma forma se enumeran, al final, las referencias o bibliografías.
9. Evitar las notas de pie de página; en caso de que sean muy necesarias deben contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.
  10. Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis, y en lo subsecuente se escribe sólo la sigla o abreviatura respectiva.
  11. Por tratarse de una publicación con arbitraje, la revista recibe, revisa y envía los trabajos al Comité Editorial, el cual aprueba su publicación con base en el concepto de pares evaluadores especializados.
  12. Los originales recibidos se conservan como parte del archivo de la revista.
  13. Como derechos de autor se reconocen 3 ejemplares de la revista, que se envían a cada autor.
  14. Favor enviar la colaboración a:

REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
Universidad de Antioquia  
Ciudad Universitaria, Bloque 18, oficina 141  
Tel. 210 55 43 – 210 55 74  
Correo electrónico: revista.ingeniería@udea.edu.co

# **CENTRO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES Y DE INGENIERIA CENTRO EXCELENCIA**

## **Y SUS GRUPOS:**

Corrosión y Protección, Categoría A

Catálisis Ambiental, Categoría A

Ciencias de los Materiales, Línea Catalizadores y Adsorbentes, Categoría A

Investigación en Gestión y Modelación Ambiental, GAJA, Categoría B

Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental, GIGA, Categoría B

Manejo Eficiente de la Energía Eléctrica, GIMEL, Categoría C

Ciencia y Tecnología del Gas, Categoría C

Grupo de Investigaciones Pirometalúrgicas, GIPIME, Categoría C

Nuevos Prototipos de Energía, Categoría D

Sicosis, Categoría D

CERAMEX, Categoría D

Ciencia y Tecnología Biomédica, Categoría D

Grupo Bioprocesos

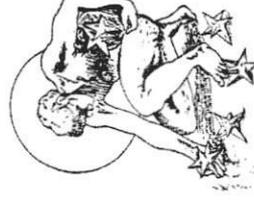
Microelectrónica

Mecatrónica

Grupo Cable



UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA  
1803



**CIUDAD UNIVERSITARIA, Calle 67 No. 53-108**

**Facultad de Ingeniería - Bloque 21, oficinas 103-105**

**Teléfonos 210 55 10, 210 55 09. Fax 211 90 28**

**e-mail: [cia@jaibana.udea.edu.co](mailto:cia@jaibana.udea.edu.co)**

# CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA

## NUESTRO PROPÓSITO

Propiciar que los recursos materiales de la Facultad y el talento de sus integrantes sirvieran para la elevación del nivel académico de la enseñanza impartida a los estudiantes, mediante la vinculación de los programas docentes e investigadores de la Facultad a problemas reales de la comunidad.

Brindar educación permanente, actualización y proyección a la comunidad mediante la organización de cursos, seminarios, foros, talleres y otras actividades que respondan a las necesidades de actualización, asesoría y consultoría de los profesionales e instituciones.

## GRUPO SIGMA

Este grupo interdisciplinario, trabaja el área de proyectos, *Cultura Informática*, que tiene por objeto la gestión del cambio cultural que ocasiona en las empresas el aprendizaje y el trabajo con nuevas tecnologías de la información. Son proyectos que enraizan el aprendizaje en la cultura organizacional, crean, desarrollan, evalúan y mejoran las estrategias pedagógicas y de gestión y producen los medios didácticos integrados para lograr el aprendizaje. En este contexto se ha realizado la formación de usuarios de sistemas de información geográfica y para Medellín y sus alrededores, SIGMA de las EE.PP.M. y la formación de coordinadores de equipo como tutores, en la misma empresa.

## GRUPO ISO

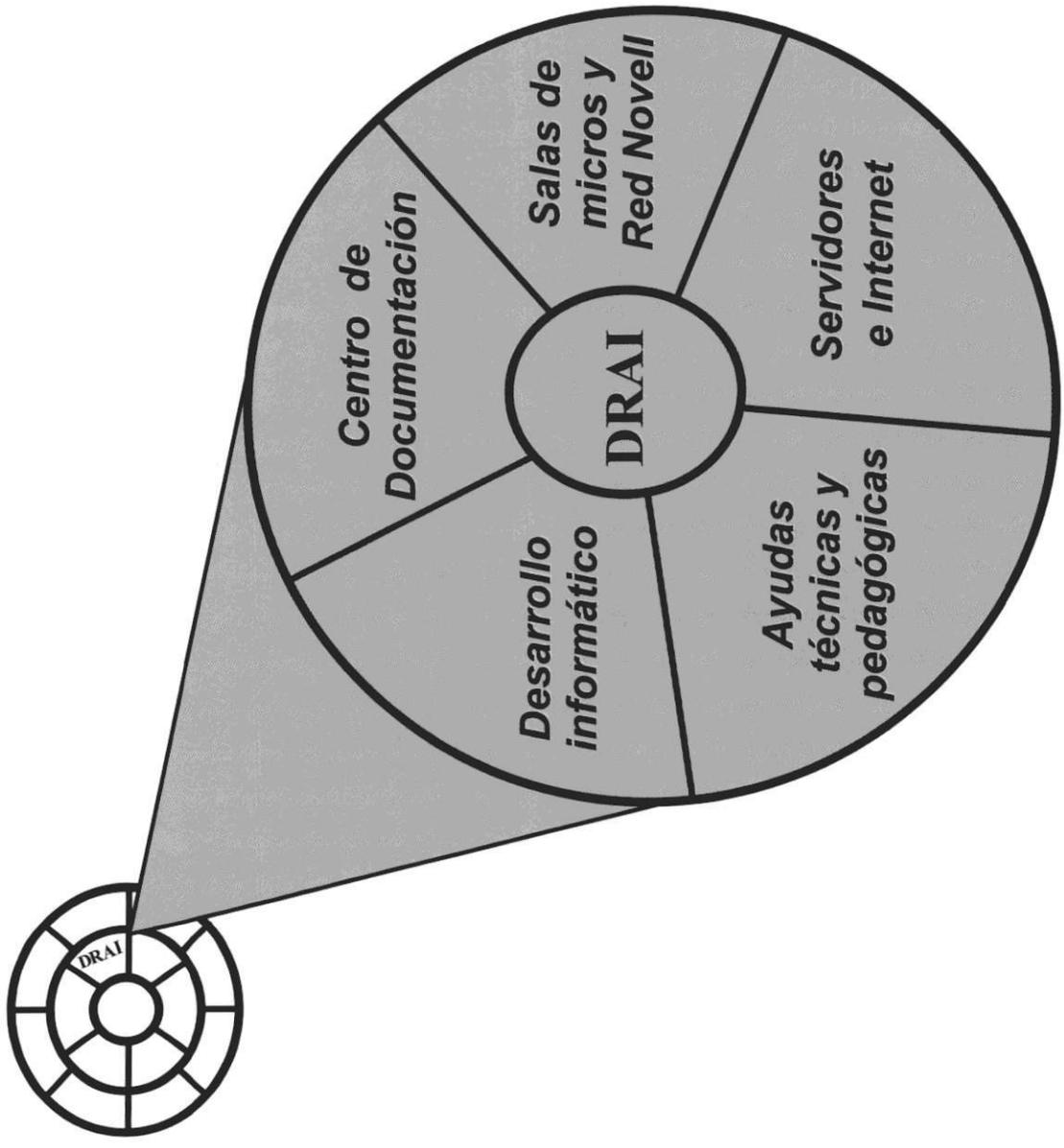
### Misión

Promover y difundir por medio de las líneas de capacitación, asesoría e investigación el conocimiento y aplicación de los estándares internacionales ISO relacionados con la gestión de la calidad y con los sistemas de gestión ambiental.

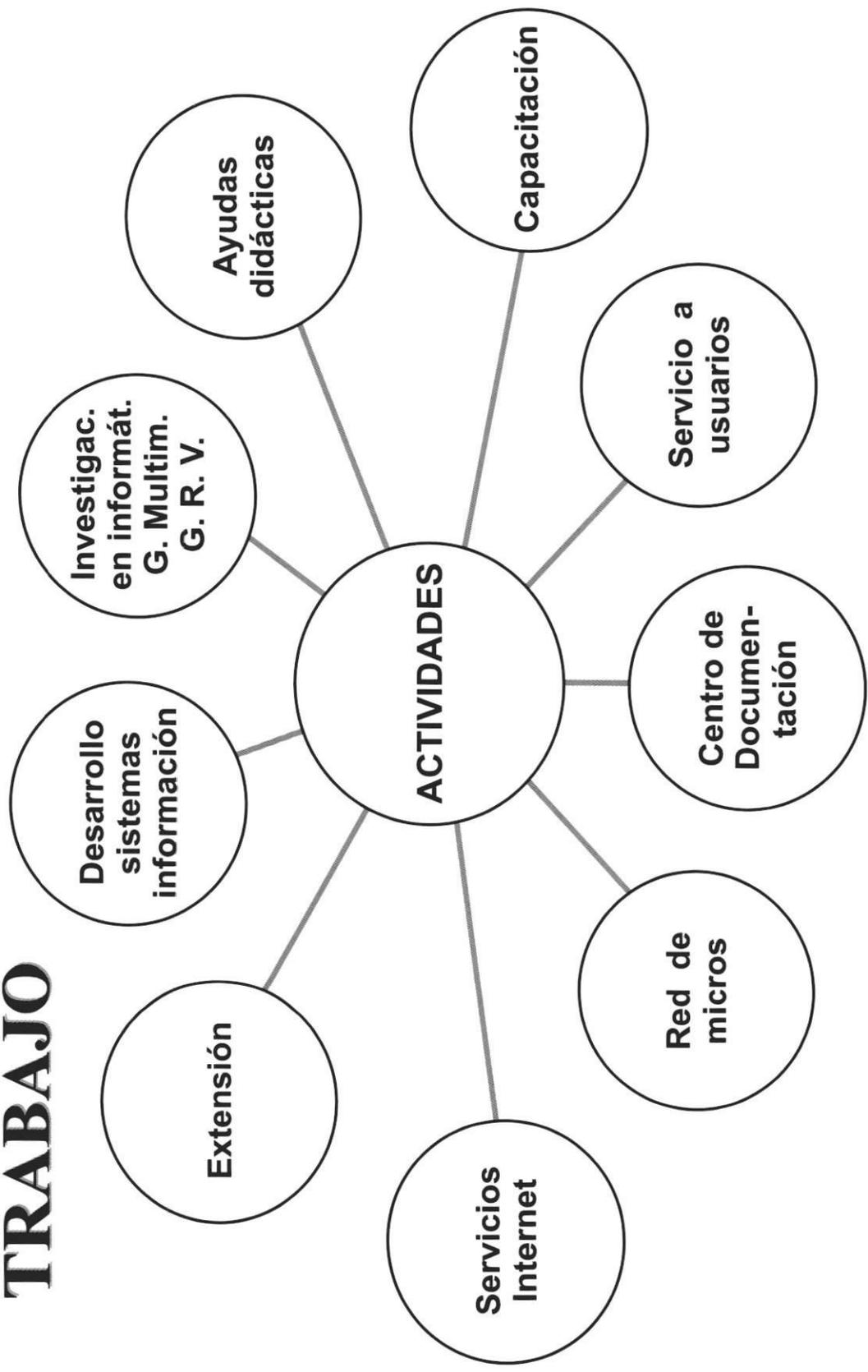
### Visión

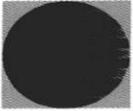
En 2002 el grupo regional ISO habrá desarrollado todas sus líneas de trabajo cubriendo el departamento de Antioquia y el eje cafetero. Será reconocido en Colombia y por la ISO como grupo de investigación jalonador de una red nacional de calidad y gestión ambiental y como miembro activo y dinamizador de los comités técnicos donde desarrolla su misión.

**ORGANIGRAMA  
DEL DRAI**



# FRENTES DE TRABAJO





# GRUPO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL GAS Y USO RACIONAL DE LA ENERGÍA



## 1. ANTECEDENTES

El protagonismo del gas natural en la canasta energética mundial y también en la economía colombiana, ha inducido el interés por la investigación científica y tecnológica para el manejo de este recurso energético. De otro lado, los requerimientos para el uso racional de la energía como mecanismo que optimice la utilización de los energéticos y contribuya a la atenuación de los impactos ambientales, constituye también un tema de pertinencia nacional en el contexto de la política energética.

Como una respuesta a los retos señalados se creó en 1995 el grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

## 2. OBJETIVO DEL GRUPO

Desarrollar actividades de investigación, innovación tecnológica, capacitación y divulgación en utilización energética de los combustibles gaseosos y uso racional de la energía.

## 3. LINEAS DE INVESTIGACIÓN

- Combustión de combustibles gaseosos.
- Innovación tecnológica en equipos y sistemas para el uso del gas natural.
- Aplicaciones energéticas del gas natural en generación eléctrica y cogeneración, en transporte (gas natural vehicular - GNV), en la industria y en el sector residencial.
- Incidencia de condiciones atmosféricas (altitud, higrimetría y temperatura), en los sistemas de combustión a gas.
- Uso racional de la energía.
- Economía energética.
- Biocombustibles.

## 4. DIRECCIÓN Y UBICACIÓN

**Ubicación:** Calle 67 No. 53-108, Universidad de Antioquia, Medellín, Facultad de Ingeniería

Oficina: Bloque 20, Of. 435, tel. 210 55 29

Laboratorios: combustión y máquinas térmicas: bloque 18, tel. 210 55 53

**E-mail:** Coordinador: Andrés A. Amell Arrieta: [anamell@udea.edu.co](mailto:anamell@udea.edu.co)

Grupo del gas: [grupogas@udea.edu.co](mailto:grupogas@udea.edu.co)

**Página web:** <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/grupogas/index.html>

En esta página encontrará la información detallada de los objetivos, líneas, recursos humanos, realizaciones, publicaciones e infraestructura del grupo



# GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN MANEJO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA —GIMEL—



## 1. ANTECEDENTES

El GIMEL surgió como respuesta a la apertura en el sector eléctrico, la cual urge soluciones a nuevos problemas en el campo de la eficiencia energética y desarrollos tecnológicos que lo mantengan competitivo en su servicio a la sociedad colombiana. De esta forma se han ejecutado seis proyectos de investigación y se tienen dos en ejecución, también se han realizado más de 50 publicaciones nacionales e internacionales.

Con su accionar, el GIMEL se integró al sistema nacional de investigación clasificando en la última convocatoria de Colciencias en la categoría C-promisorio. Desde entonces, se han alcanzado indicadores que permiten aspirar a obtener la categoría B en la próxima convocatoria.

## 2. OBJETIVO GENERAL DEL GRUPO

Desarrollar investigación y asesoría en el servicio y utilización de la energía eléctrica con miras a una alta competitividad con consideraciones ambientales y de productividad para el desarrollo sostenible de la región y el país y para realimentar la formación de estudiantes de ingeniería y otras especialidades en la Universidad de Antioquia.

- Uso Racional de la Energía.
- Impacto Ambiental de Sistemas Eléctricos.
- Robótica y Automatización.

## 3. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

## 4. DIRECCIÓN Y UBICACIÓN

**Ubicación:** Calle 67 No. 53-108, Universidad de Antioquia, Medellín. Facultad de Ingeniería. Oficina: Bloque 20, oficina 447, Teléfono: 210 55 55, extensión: 5558, Fax: (94) 263 82 82. Apartado Aéreo: 1226.

**E-mail:** gmoreno@udea.edu.co

**Página web:** <http://ingenieria.udea.edu.co/programas/electrica/gimel/>

En esta página encontrará la información detallada de los objetivos, líneas, recursos humanos, realizaciones, publicaciones e infraestructura del grupo.



# GRUPO DE INVESTIGACIONES PIROMETALÚRGICAS Y DE MATERIALES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES

## ANTECEDENTES

GIPIIME —Grupo de Investigaciones Pirometalúrgicas y de Materiales— está llamado a transportar las chispas de fuego más allá de las barreras del tiempo nuevo, que se iniciará en el tercer milenio.

Tuvo su inicio como Grupo de Cera Perdida en 1988, y se oficializó por la rectoría el 19 de diciembre de 1990, mediante la Resolución Rectoral 1161. En 1997 se amplió su campo de acción con otras líneas, que tienen como denominador común el de trabajar con altas temperaturas.

## OBJETIVO GENERAL DEL GRUPO

Impulsar la investigación en temas de ingeniería metalúrgica y de materiales, relacionados con el uso de altas temperaturas.

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Cera perdida.
- Eco-eficiencia.
- Nuevos materiales y procesos.
- Tratamientos térmicos.

## DIRECCIÓN Y UBICACIÓN

**Ubicación:** Calle 67 No. 53-108, Universidad de Antioquia, Medellín. Facultad de Ingeniería  
Oficina: Bloque 19, Of. 211, Tel. 210 55 42  
**E-mail:** Director: Héctor Daniel Mejía A. danme@udea.edu.co  
GIPIIME: gipimme@udea.edu.co

**Página web:** <http://ingenieria.udea.edu.co/investigación/gipimme/>

En esta página encontrará la información detallada de los objetivos, líneas, recursos humanos, realizaciones, publicaciones e infraestructura del grupo.

**G.E.A**

Siempre pensando  
en llegar energía  
al campo



UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA  
1 8 0 3

## **GRUPO DE ENERGÍA ALTERNATIVA Clasificación COLCIENCIAS 2000 “D”**

### **1. ANTECEDENTES**

El Grupo de Energía Alternativa de la Universidad de Antioquia surge a partir de la primera Expouniversidad en julio de 1993 para impulsar el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía como solución a los problemas energéticos de las regiones no beneficiadas de la electrificación a través de las redes de distribución. A partir de entonces ha trabajado en varios proyectos de investigación con el apoyo de Colciencias, Cornare y la Universidad de Antioquia, en los cuales ha desarrollado una importante tecnología que lo capacita para llevar a cabo proyectos de electrificación de viviendas campesinas con tecnologías avanzadas y desarrollos propios.

### **2. OBJETIVOS DEL GRUPO**

- Contribuir a la preservación del medio ambiente y al mejoramiento de la calidad de vida del habitante rural, a través del desarrollo tecnológico en el área de energía alternativa.
- Proporcionar mejores soluciones al problema de la escasez de energía en lugares alejados de las redes rurales, disminuyendo el nivel de necesidades insatisfechas en nuestros campesinos con soluciones que alivien problemas de siempre como es la falta de iluminación, comunicación y combustible para la cocción de alimentos.
- Disponer de la tecnología que permita la fabricación local de soluciones energéticas que actualmente se importan, aportándose de esta manera al desarrollo tecnológico y científico del país.
- Probar y analizar un prototipo de generador de hidrógeno para conocer diferentes alternativas de producción.

### **3. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ENERGÍA SOLAR**

Automatización de plantas fotovoltaicas utilizadas en viviendas. Mejorar en lámparas fluorescentes. Estudio del almacenamiento de la energía solar fotovoltaica. Nuevas aplicaciones.

Estudio de diseño de paneles solares termoeléctricos. Aplicaciones.

**ENERGÍA EÓLICA:** Adaptación tecnológica del recurso Eólico, construcción del sistema de soporte, de generación de electricidad y de las aspas.

**MINIHIDRÁULICA:** Desarrollo tecnológico de generadores de energía eléctrica hidráulica o “Picogeneradores” para uso en viviendas rurales.

Diseño del proceso de fabricación a gran escala como una alternativa de solución a los problemas rurales de electrificación.

**HIDRÓGENO:** Estudiar aplicaciones del hidrógeno y uso.

### **4. DIRECCIÓN Y UBICACIÓN**

Calle 67 No. 53-108, Universidad de Antioquia, Medellín, Facultad de Ingeniería  
Oficina: Bloque 19. Laboratorio de Energía Alternativa. Teléfono (57-4) 210 55 47

E-mail: Coordinador: Sergio Agudelo Flórez. seragude@udea.edu.co

Grupo de Energía Alternativa, ealternativa.ingenieria@udea.edu.co

Página web: <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/gea>

Se terminó de imprimir  
en la Imprenta Universidad de Antioquia  
en el mes de mayo de 2002

**REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
CUPÓN DE SUSCRIPCIÓN**

Suscripción y factura  
a nombre de: \_\_\_\_\_ C.C. \_\_\_\_\_  
Departamento académico: \_\_\_\_\_ Registro: \_\_\_\_\_  
Dirección de envío: \_\_\_\_\_  
Teléfono: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_  
Residencia: \_\_\_\_\_ Oficina: \_\_\_\_\_  
Ciudad: \_\_\_\_\_ País: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_ Suscripción a partir del número: \_\_\_\_\_  
Firma: \_\_\_\_\_  
Cheque No. \_\_\_\_\_ Banco: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_

**Valor de la suscripción: (4 números):**

Colombia: \$30.000  
América Latina: US\$85  
Norteamérica y Europa: US\$117

¿Desea que se lo descuenten de nómina? Sí \_\_\_ No \_\_\_ Cuántas cuotas \_\_\_\_\_

**IMPORTANTE**

Todo pago se hace a nombre de: Universidad de Antioquia CIA, centro de costos 8703.

Para su comodidad usted puede cancelar en cheque y enviarlo al A. A. 1226 o consignar el valor de la suscripción en la cuenta nacional 180-01077-9 del banco Popular, en cualquier oficina del país, a nombre de la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA —CIA—, centro de costo 8703.

Si usted paga por este sistema, debe sacar una fotocopia del recibo de consignación y enviarla junto con la suscripción.

**NOTA.** Los precios en dólares incluyen el valor del correo y la transferencia.

**Correspondencia, canje y suscripciones**

REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA

Universidad de Antioquia

Bloque 18, oficina 141

Correo electrónico: revista.ingenieria@udea.edu.co

Teléfono 210 55 74. Fax 263 82 82

A.A. 1226