

Descarga eléctrica y arco eléctrico

Félix Redondo Quintela, Roberto C. Redondo Melchor.

Universidad de Salamanca

19 de agosto de 2014

Arcos eléctricos y descargas eléctricas se producen en el funcionamiento normal de las instalaciones eléctricas, pero también como accidentes. En este artículo se comenta sobre los arcos y descargas eléctricas, principalmente desde el punto de vista de la ingeniería.

Descarga eléctrica entre conductores

Los electrones libres de los conductores, tales como los metales, están en continua agitación. El valor medio del módulo de las velocidades de agitación de esos electrones es mayor cuanto mayor sea su temperatura. Por esas velocidades aleatorias algunos de los electrones libres salen del conductor. Más cuanto mayor sea la temperatura del conductor. Pero, en general, todos retornan inmediatamente debido a que perder electrones carga al conductor con electricidad positiva, y entonces atrae los electrones que han salido. Por eso, los electrones que lo abandonan por la agitación térmica, a lo sumo forman a su alrededor un estrechísimo conjunto en continua renovación. A penas se alejan del conductor, retornando continuamente a él. Eso, a no ser que esos electrones sean atraídos por algo exterior.

Si dos conductores separados por el vacío o por un gas tienen potenciales eléctricos diferentes, $v_1 < v_2$, existe campo eléctrico no nulo entre ellos. Y existe, por tanto, fuerza sobre las cargas que estén entre los conductores. Esa fuerza empuja las cargas negativas hacia el conductor de mayor potencial, y las positivas hacia el de menor potencial. O sea, el conductor de mayor potencial atrae las cargas negativas y el de menor potencial atrae las positivas. De esta manera los electrones libres del conductor de menor potencial que lo abandonen pueden ser atraídos hacia el conductor de mayor potencial. Y pasan electrones del conductor de menor potencial al de mayor potencial a través de la separación entre los dos conductores mientras exista diferencia de potencial suficiente. Se ha creado así una corriente eléctrica a través del vacío o del gas que separa los conductores en el sentido del conductor de mayor potencial al de menor potencial. Este hecho se llama *descarga eléctrica* entre conductores. Si el espacio entre ellos está vacío, la descarga se llama *descarga eléctrica en el vacío*. Si hay gas se llama *descarga eléctrica en el gas* de que se trate.

Energía de los electrones

La energía que adquiere cada electrón en las descargas en el vacío cuando pasa del conductor de potencial v_1 al de potencial $v_2 > v_1$ es $e(v_1 - v_2)$, donde $e \approx -1.602 \times 10^{-19}$ C es la carga eléctrica del electrón. Como e y $v_1 - v_2$ son números reales negativos, su producto es positivo. Por tanto, la energía que adquiere el electrón al pasar entre los dos conductores, que es energía cinética, es positiva, y aumenta la velocidad del electrón. $e(v_1 - v_2)$ es la energía que tiene el electrón al llegar al conductor de mayor potencial. Si ese conductor es sólido, por ejemplo un metal, por el choque la velocidad del electrón se hace prácticamente cero, lo que significa que cada electrón cede su energía cinética al conductor, que eleva por eso su temperatura. Si el calentamiento no se controla, ese aumento de temperatura puede poner el metal incandescente, fundirlo o sublimarlo en las partes próximas al choque de los electrones contra él.

Arco eléctrico

Si en el espacio entre los dos conductores a diferentes potenciales hay gas, algunos electrones de los que salen del conductor de menor potencial hacia el otro pueden chocar contra las moléculas de ese gas. El resto pasa a través del gas hasta alcanzar el conductor de mayor potencial. Los electrones que chocan con moléculas de gas pueden entregar energía a los átomos de las moléculas con que chocan, de forma que los electrones de esos átomos de gas saltan a órbitas más externas. Cuando retornan a su órbita inicial, emiten energía electromagnética que, si su frecuencia es del espectro visible, es detectada por el ojo humano como luz. El resultado es que se ve una zona de gas que emite luz entre los dos conductores.

Como el gas alcanzado por electrones absorbe energía, se calienta y tiende por eso hacia arriba, a subir. Si la trayectoria recta entre los dos conductores es horizontal, como la parte central del gas, caliente, sube, la zona emisora de luz aparece como un *arco*. De aquí el nombre de *arco eléctrico* para las descargas eléctricas en gases.

No obstante, la forma de arco es solo consecuencia de la posición relativa de los dos conductores respecto a un campo gravitatorio. Si la trayectoria recta entre los dos conductores es vertical, la forma visible no es la de un arco, aunque sigue llamándose arco eléctrico. Tampoco la forma sería de arco en un lugar sin gravedad, aunque también se llama arco eléctrico. Por eso, una definición de *arco eléctrico* puede ser *zona que emite luz por causa de una corriente eléctrica en un gas entre conductores*.

Calentamiento de los conductores

En descargas en el vacío los electrones que salen del conductor negativo chocan con el conductor positivo, y la energía $e(v_1 - v_2)$ que cada electrón ha adquirido hasta justo

antes de llegar al conductor positivo se la entrega a ese conductor¹. El conductor positivo eleva por eso su temperatura.

Si la descarga no es en el vacío, sino que entre los conductores hay aire u otro gas, los electrones que chocan con átomos de gas pueden llegar a arrancar electrones a esos átomos, a ionizarlos. Entonces los iones positivos del gas son atraídos por el conductor negativo y pueden chocar contra él. Estos choques calientan también ese conductor, el negativo, aunque la energía que recibe es menor que la que recibe el positivo, pues con el positivo chocan los iones negativos, y también los electrones libres del espacio entre los dos conductores, que llegan a él.

En las descargas en gases este calentamiento puede también fundir o sublimar la parte de los conductores expuesta al choque de los electrones y de los iones. Ese es, precisamente, el origen de las bolitas u otras formaciones que aparecen cuando se produce un arco de mucha intensidad, incontrolado, entre conductores metálicos: la fusión o sublimación es casi instantánea, y también lo es la inmediata solidificación posterior por rápida bajada de su temperatura. El resultado es la condensación, a veces en forma de bolitas, del metal.

Arcos eléctricos en instalaciones eléctricas

Los interruptores mecánicos de corriente eléctrica interrumpen la corriente separando sus contactos una determinada distancia. Hasta que esa separación alcanza un determinado valor puede existir arco eléctrico entre los dos contactos, que están a diferente potencial al separarse. Por eso hay que diseñar los interruptores para que, en funcionamiento normal, el arco no eleve la temperatura de los contactos hasta valores peligrosos. En especial para que la temperatura no se aproxime a la temperatura de fusión del material.

Si dos conductores de una línea eléctrica o de otra instalación a diferentes potenciales se aproximan, pueden saltar electrones de uno a otro si la diferencia de sus potenciales es suficiente. Se origina así un cortocircuito sin contacto directo entre los dos conductores. Si los conductores están en el aire, se produce una zona que emite luz, un arco de cortocircuito. Se dice que se ha producido un *cortocircuito por arco eléctrico*, un cortocircuito en el que no ha habido contacto directo entre los dos conductores a diferentes potenciales, aunque sí una aproximación suficiente para que entre ellos se haya producido la descarga eléctrica.

¹ Recuérdese que si se comparan los potenciales eléctricos de dos puntos o de dos conductores, el punto o conductor con menor potencial se califica como *negativo*, y el de mayor potencial *positivo*.

Descargas eléctricas en tubos

Hay descargas eléctricas no deseables. Por ejemplo, las que se originan por accidente entre conductores a diferentes potenciales eléctricos, y las que se producen en los interruptores mecánicos. Estas descargas deben evitarse o aminorar sus efectos indeseables. Pero hay descargas eléctricas, corrientes en el vacío o en gases, con las que se consiguen efectos útiles. Por lo general, esas descargas, controladas, se producen en tubos en cuyo interior se ha hecho el vacío o se ha introducido un gas. Dentro del tubo están los extremos de los dos conductores, con terminales al exterior para conectarlos a diferentes potenciales eléctricos. El conductor de menor potencial, del que van a salir los electrones, se llama *cátodo*, y el conductor de mayor potencial *ánodo*. Y cada uno *electrodo*.

Entre los dispositivos que utilizan corrientes eléctricas en el vacío están los tubos de rayos catódicos, que fueron la base de los primeros televisores, y también los tubos de rayos X. Y entre los dispositivos que utilizan corrientes en gases están las lámparas de gas o lámparas de descarga.

Descargas electrostáticas

Otro tipo de descargas eléctricas son las descargas electrostáticas. Si un cuerpo está cargado de electricidad negativa tiene más electrones que protones. Si se le aproxima lo suficiente otro cuerpo en estado neutro o con carga positiva, los electrones excedentes del cuerpo cargado negativamente tienden a pasar al otro. El mecanismo de paso es el mismo que el de una descarga eléctrica entre conductores. Esa descarga desaparece cuando disminuye lo suficiente el exceso de carga del cuerpo cargado. Si la descarga es en el aire, los electrones que cambian de cuerpo pueden excitar los átomos del aire y se ve el arco, que ahora suele llamarse chispa porque es pequeño y su duración suele ser corta.

Los rayos de las tormentas son descargas eléctricas entre zonas de la atmósfera con diferentes cargas eléctricas, o entre zonas de la atmósfera y la Tierra, también con diferentes cargas eléctricas.

Descargas con tensiones alternas

La diferencia de potencial entre los dos conductores entre los que se produce una descarga puede variar. Incluso puede invertirse su polaridad. De hecho, gran parte de las descargas que se producen, deseadas o no, ocurren en redes sinusoidales, que son las más frecuentes. En ellas los dos conductores entre los que se origina una descarga alternan la polaridad de su tensión varias veces cada segundo y, por tanto, también cambia el sentido de la velocidad de los electrones entre ellos el mismo número de veces por segundo. Ahora los dos conductores reciben por término medio la misma energía cada segundo, la misma potencia, por el choque de electrones e iones con ellos.

En los tubos de descarga con tensiones alternas los dos conductores son alternativamente cátodo y ánodo. Por eso en esos tubos se llama a cada uno simplemente *electrodo*.

Conclusión

Por tanto, una *descarga eléctrica en el vacío* es una corriente de electrones de un conductor a otro de mayor potencial en el espacio vacío que los separa.

El conductor del que parten los electrones, de menor potencial o negativo, se llama *cátodo*. El de mayor potencial o positivo se llama *ánodo*.

Descarga eléctrica en un gas es una corriente de electrones y de iones negativos originados por esos electrones en el sentido del cátodo al ánodo, y de iones positivos en el sentido del ánodo al cátodo.

Tanto en el vacío como en un gas el sentido de la corriente eléctrica es del ánodo al cátodo, opuesto al sentido de la velocidad de los electrones y de los iones negativos.

Arco eléctrico es una descarga eléctrica en un gas. Sin embargo, las descargas en tubos no suelen llamarse arcos eléctricos, sino descargas eléctricas. Arcos suelen llamarse las descargas en el aire, como las que se producen al interrumpir corrientes eléctricas con interruptores mecánicos, las que se producen por accidente en las instalaciones eléctricas entre conductores a diferentes potenciales, o las descargas mantenidas de las lámparas de arco, que iluminan por medio del arco entre dos electrodos en el aire.

A los rayos de las tormentas no se les llama arcos eléctricos, sino descargas eléctricas.

Cuando el arco es pequeño y de corta duración se le suele llamar *chispa eléctrica*.

También, de forma muy general, se llama descarga eléctrica a una corriente eléctrica accidental por un cuerpo, generalmente no buen conductor. Así se dice, por ejemplo, que un ave sufrió una descarga eléctrica por tocar simultáneamente dos cables de una línea de alta tensión.