

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

PELIGROS DE LAS CORRIENTES ALTERNAS INDUSTRIALES Y MANERA DE AMINORARLOS

Mucho se está hablando de los peligros de la electricidad, factor de progreso que lleva aparejados, como tantos otros, sus graves disgustos. En esta capital (1), más que en cualquier parte, ocurren demasiado á menudo casos fatales atribuidos á las corrientes eléctricas de tensión baja, tales como la reciben los consumidores, y que llamaremos *industriales*. Se producen dichos accidentes no solamente sobre obreros electricistas, de modo que harían parte de los inevitables riesgos profesionales conocidos bajo el nombre de «accidentes de trabajo», sino con mayor frecuencia entre los que sin conocimientos técnicos utilizan la luz eléctrica, y máxime entre la gente modesta.

Todas las corrientes eléctricas dan origen en ciertas y determinadas condiciones á otros muchos efectos dañinos; pero los que resultan de las *corrientes alternas industriales*, como suelen usarse entre nosotros, revisten bastante importancia para que nos parezca útil estudiar detenidamente aquel peligro y sus remedios.

Sucede, desgraciadamente, que el complejo problema abarca á la vez una fase técnica y otra fisiológica. Necesitaríase, pues, la colaboración de un médico y de un electricista. A falta de competencia en medicina, nos contentaremos con valernos de los resultados conocidos y de reseñar los efectos comprobados sin buscar cuál es el proceso fisiológico.

El punto de partida de esta Memoria reside en una larga lista de accidentes fatales acaecidos en los últimos años en esta capital y sus alrededores, tales como llegaron á nuestro conocimiento por la Prensa, y todos debidos *exclusivamente* á las corrientes alternas industriales.

Examinaremos luego los estudios hechos por peritos acerca de la influencia de las varias condiciones del circuito eléctrico en la muerte por la corriente.

En virtud de la dificultad de explicar, en circunstancias al parecer análogas, efectos mortales al lado de inocuidad absoluta, hemos creído necesario esbozar ligeramente los principios de la teoría de los fenómenos transitorios en corrientes alternas, indispensables para demostrar el motivo de muchos accidentes.

A la luz de estas ideas examinaremos el sistema de distribución adoptado en esta ciudad por una de las Empresas productoras, la forma de las instalaciones eléctricas oficiales y privadas,

(1) Buenos Aires.

comparándolas con los reglamentos y las costumbres en el extranjero y notando sus defectos principales.

Estaremos luego capacitados para indicar brevemente en qué sentido debemos buscar los remedios, los que, á nuestro parecer, necesitan la cooperación benéfica de los Poderes públicos, de las Empresas, de los instaladores y del mismo público.

Creemos útil principiar este estudio con una lista, por cierto incompleta, de las desgracias fatales acaecidas durante los últimos años en esta capital, en la misma forma como los periódicos las publicaron y sin comentario alguno.

LISTA DE ACCIDENTES CON CORRIENTE TRIFÁSICA DE 220 VOLTIOS, 50 PERÍODOS

1908, Diciembre 21. Un albañil, al tocar un caño de desagüe en una casa en reparación en la avenida Alvear, cayó muerto, habiéndose comprobado después que la culpa era de la C. A. T. E., que no había cortado la corriente al sacar el contador.

1909, Enero 19. La señora Emilia C. de Hurtado, viviendo en la calle Ollereros, 2.034, encuentra la muerte por haber tocado una lámpara portátil en un cuarto de baño. Un vecino, al ver á esta señora extendida en el suelo, llamó la Asistencia pública, pero todos los esfuerzos resultaron vanos.

1909, Mayo 10. En la penitenciaría nacional el conscripto Anibal Gil, al proponerse encender lámparas eléctricas, tocó por casualidad un conductor y quedó muerto.

1909, Octubre 29. Con esta fecha el diario *La Prensa* relata dos casos de muerte ocurridos: uno en el paseo Colón, 1.328, por haber el obrero Antonio Romero tocado uno de los tirantes del armazón de un galpón, y el otro en el cuarto piso de una casa en construcción, calles Melo y Junín, donde el obrero José V. de Salvadores tocó un cable eléctrico con igual mala suerte.

1909, Diciembre 4. En la quinta de Díaz Vélez se había instalado un sistema de hilos conductores de tal manera, que al ser tocados por cualquiera hicieran sonar una campanilla. Pero, siendo la corriente alterna, un tal Avelino Freyguedo fué hallado muerto en aquel sitio aferrado con una mano á dichos hilos.

1909, Diciembre 13. Un empleado del telégrafo de la provincia, Pablo Chaves, al colocar un hilo en la cruzeta de un poste en Avellaneda, recibió una descarga eléctrica, y quedó sin vida.

1910, Febrero 6. Un motorista, José Ferrari, al ocuparse de arreglar una lámpara en su casa, falleció en el acto.

1910, Marzo 16. En la casa Fitz-Roy, 2.384, el obrero Francisco Saporitti, de la C. A. T. E., se ocupaba en reparar la instalación eléctrica. Al apoyarse en unos cables que no habían sido previamente aislados, recibió una descarga que le causó la muerte.

1911, Febrero 25. En la fábrica de masas de Manuel Alvarez, Defensa, 1.139, un peón, al querer trasladar una lámpara á otro sitio, encontró la muerte.

1911, Abril 5. En la calle Callao, 930, un obrero albañil que efectuaba reparaciones tocó un caño y murió en el acto.

1911, Mayo 4. En la usina de la Exposición ferroviaria, el sereno Jorge Blanco fué encontrado muerto á la mañana siguiente.

1911, Julio 4. En el sótano del teatro Moderno (Rivadavia y Paraná), el joven Cayetano Pierotti colocaba una casilla de hierro contra la pared, cuando el cordón flexible de una lámpara portátil tocó la casilla, produciéndose un contacto, de cuyas consecuencias resultó muerto el obrero.

1911, Septiembre 9. En una casa en demolición, Victoria, 757, el peón Eugenio Badiani, mientras transportaba materiales, apoyó inadvertidamente la mano derecha en un aparato eléctrico y recibió una descarga tan fuerte que quedó muerto.

1911, Noviembre 13. Arturo Leyhnitz, enfermero del hospital Alemán, cayó muerto al tocar la verja del establecimiento. El electricista llamado informó que la verja estaba en contacto con un cable eléctrico.

1912, Enero 5. En una fábrica de cemento armado, calle Aristóbulo del Valle, 385, un maquinista, José Bairo, al efectuar una inspección de los aparatos, tocó un tubo transmisor y recibió una descarga mortal.

1912, Febrero 22. En una panadería, Almirante Brown, 116, el operario José Varela tocó distraídamente un cable de las instalaciones eléctricas y recibió una descarga que le dió muerte.

1912, Abril 24. En una casa en construcción, Patricios, 1.636, un obrero encontró el cadáver de su compañero de trabajo Juan Chiesa, el cual tenía la mano derecha adherida á un caño de gas en contacto con un conductor eléctrico.

1912, Febrero 23. En los talleres de La Cantábrica, Martín García, 584, Juan Poiza, al cruzar un tirante de hierro, á 5 metros de altura, se tomó del brazo de un cluster, aparentemente sin corriente, y quedó muerto.

1913, febrero 26. En el Parque Japonés, Francisco Traverso, concesionario de un quiosco, al intentar arreglar una lámpara recibió una descarga mortífera.

1912, Marzo 20. El obrero Gregorio Marcovichi se recostó en un descuido contra un cable eléctrico en la esquina del Riachuelo y de Almirante Brown, y fué muerto en el acto.

1913, Marzo 28. Muerte del peón Baldomero Palide, en la confitería del Molino, al limpiar una lámpara eléctrica.

1913, Abril 20. En una zanja practicada por las obras de salubridad en la esquina de Vera y Malabia trabajaba el obrero Salvador Mistardo, quien, ignorando el peligro, se aproximó á un cable eléctrico, lo tomó con la mano y quedó muerto.

1913, Abril 26. Muerte del obrero César Alejandri, en la fábrica de embutidos, Rioja, 1.639, al intentar encender una lámpara.

1913, Abril 29. El menor de quince años, Agapito Lavallén, descendía al sótano del almacén, Cabildo, 202, de donde era empleado; pretendió encender una lámpara; siendo el piso muy húmedo, recibió una descarga que lo mató.

1913, Mayo 2. José Yuinle, operario del Frigorífico Argentino, en Avellaneda, colocaba chapas de hierro en un tacho, empleando una lámpara eléctrica, y en tales circunstancias recibió una descarga fulminante.

1913, Mayo 21. En el edificio en construcción, calle Santa Fe, 750, se mató el obrero Francisco Lía, que se alumbraba con una lamparita.

1913, Septiembre 26. Muerte del electricista Pascual Mercurio, al arreglar la instalación, Mansilla, 396.

1913, Septiembre 28. Muerte del peón Salvador Sayarés, ocupado en hacer limpieza en el cinematógrafo, Lavalle, 865.

1913, Septiembre 4. En la casa Dean Funes, 1.931, el vecino Antonio Otero salió de su habitación para dirigirse á una pieza de altos. No bien hubo pisado aquél en la escalera de hierro, recibió una descarga que lo mató; al examinar la escalera se halló un trozo de alambre de la instalación eléctrica que la tocaba y había producido el caso de fatales consecuencias.

1913, Septiembre 12. En la casa de construcción, Florida y Paraguay, el obrero Jo-é Scolezzi, al bajar un tirante de hierro que tenía contacto con un hilo eléctrico quedó muerto.

1913, Diciembre 23. En el sótano de la calle Asunción, 4.738, el obrero Segundo Costa efectuaba algunas reparaciones con una lámpara portátil, cuyo contacto le resultó fatal.

1914, Enero 4. En la licorería Luna, 174, el peón Manuel Martínez, al pretender cerrar una puerta metálica, recibió una descarga y quedó muerto.

1914, Enero 20. En las obras del puente transbordador, calle Pedro Mendoza, el operario Felipe Calvo, en un descuido se tomó de una llave que sirve para suministrar corriente y fué muerto en el acto.

1914, Julio 11. En la panadería, San Eduardo, 3.437, tocó, por descuido, el operario José Gamonale un hilo conductor de electricidad que tenía la capa aisladora en mal estado, y sufrió una descarga que lo dejó muerto.

1915, Marzo 14. En el comercio, calle Almirante Brown, 1.254, el peón Luis Solimano, al cerrar una puerta de hierro recibió una descarga, debido al contacto que se había producido por el desgaste de un cable de luz adherido á la puerta.

1915, Agosto 28. Francisco Neri, electricista, al hacer una compostura en la casa donde vivía, México, 1.028, tocó el culot de una lámpara, pudo gritar, pero la Asistencia pública no llegó á tiempo para evitar el fallecimiento.

1915, Octubre 17. Calle Montañeses, 2.067, el encargado de la casa, Andrés Gaddi, después de haber efectuado unas reparaciones en la instalación eléctrica de un aposento, se retiró dejando pendiente del techo un cordón en descubierto.

Aprovechando un descuido de sus padres, penetró la niña de dos años de edad, Elena Gaddi, trepó sobre una pila de ladrillos y puso su mano en el cordón metálico; al producirse el contacto, la niña cayó muerta.

1915, Noviembre 30. A las cuatro de la madrugada fué hallado muerto un peón de la mueblería, calle Patricios, 950, llamado Ernesto Morero, de veintiséis años, tendido en el suelo del cuarto de baño y conservando en una mano una lámpara incandescente, causa del siniestro.

1916, Febrero 10. En el hospital Alemán, un visitante, Erik Naumann, en circunstancias en que había tomado una lámpara portátil para iluminar y servir una taza de té á un enfermo á quien visitaba, cayó al suelo y falleció en el acto.

1916, Febrero 23. A las ocho de la mañana, en la fábrica de la C. A. T. E., calle Güemes, 4.435, fué hallado muerto el ayudante guarda cable Julio Posarino. El accidente ocurrió mientras barría el piso de la cámara de transformación, y al pisar en una chapa de hierro existente en el pavimento, colocó la mano izquierda en una llave de baja tensión cuya corriente le mató.

1916, Abril 22. A las cinco de la tarde, en los talleres de la «Cantábrica», calle Martín García, 665, el peón Severino Aranz, al tratar de atornillar una lámpara en un portátil para iluminar un foso, fué muerto por el choque recibido, cayendo después al suelo, cuando se hubo cortado la corriente. Todos los esfuerzos para reanimarle fueron inútiles.

1916, Mayo 31. En el vivero municipal de Palermo varios obreros se encontraban en un sótano ocupados en levantar un caño de hierro por medio de un guinche eléctrico. El caño tomó casualmente contacto con dos cables eléctricos, y el obrero Alberto Alessandri, que se hallaba recostado sobre el caño, recibió una descarga, falleciendo instantáneamente.

Esta larga lista de 43 accidentes fatales sugiere de por sí algunas conclusiones que formularemos aquí brevemente:

a) Por más que hayamos buscado, no nos ha sido dado encontrar *un solo caso* de muerte producida directamente por *corriente continua*. Los únicos accidentes conocidos son quemaduras, y casi siempre sucedieron á electricistas, profesionalmente descuidados ó á aficionados ignorantes.

Una vez el Dr. Eudoro Cisneros leyó en un diario la noticia de la muerte de un obrero producida por un contacto con corriente continua. Interesado, fué á interrogar personalmente al dueño de la casa y supo que la lámpara donde se había producido el golpe se alimentaba con corriente alterna.

b) Notaremos que casi todos los desgraciados eran gente obrera ó bien sirvientes, personas modestas, cuya desaparición no podía llamar la atención á la clase dirigente.

c) Todos los ejemplos comprueban de la manera más evidente lo *insidioso* del ataque, lo desprovisto que encontraron al electrocutado, la imposibilidad absoluta en la cual aquel desgraciado se encontraba para adivinar aún que podía correr peligro. Hacían

todos aquellos gestos acostumbrados que habían vuelto á hacer miles de veces sin sospechar inconveniente. Generalmente aun no podían suponer que iban á encontrarse en la proximidad de la corriente eléctrica.

d) Las víctimas casi nunca gritaron, y los socorros, cuando vinieron, fueron siempre ineficaces.

e) Los resultados de las investigaciones policiales sobre la razón del suceso no varían: «accidente casual», y con esto se archiva el expediente sin mayor trámite.

Sin duda á causa de los modestos recursos de los parientes de las víctimas, y de su ignorancia de que tal accidente podía no haber sido puramente casual, no creemos que haya sido juzgado todavía por los Tribunales la cuestión de responsabilidad de parte de las Empresas de luz.

Pero por falta de capacidad para ello, no estudiaremos aquí ni el mecanismo fisiológico de la muerte por electrocución, ni el punto de vista de responsabilidad. Sin embargo, aun cuando tal responsabilidad no fuese sino moral y desprovista de sanción penal, somos convencidos de que las Compañías de luz que distribuyen corriente alterna son las primeras en interesarse en la materia y que su sincero deseo es cooperar en atenuar lo más posible la frecuencia y la gravedad de sucesos tan emocionantes.

Influencia de las varias condiciones del circuito eléctrico sobre la electrocución.

Como no nos consideramos calificados para tratar el asunto todavía muy discutido del complejo proceso fisiológico, cuyo término puede llegar á ser la muerte de la víctima, no trataremos de discutir sus varias fases, notando en todo caso que no se produce con la corriente alterna ni electrólisis ni por lo general arco ni quemaduras consecutivas, como suelen producirse con la continua.

El primer efecto, al recibir la corriente por la mano, es producir una contracción muscular que hace luego muy difícil y peligroso para el salvador alejar el paciente del contacto fatal. A la vez se nota también casi siempre una paralización de la faringe que imposibilita gritar para pedir socorro. La cara se vuelve exangüe: si en aquel instante no llega auxilio, aparecen fenómenos más graves y muchas veces insalvables. Se admite, generalmente, que la acción se manifiesta en parte por la paralización del corazón, en parte por la de la respiración.

Sin entrar en mayores explicaciones al respecto, para las cuales nos referimos al notable folleto del Dr. Endoro Cisneros (1), trataremos de definir brevemente la influencia de la variación en las constantes del circuito eléctrico sobre el cuerpo humano.

Tensión eficaz.—No parece que los médicos y fisiólogos se hayan preocupado de la tensión máxima, y encontramos tan sólo datos sobre la influencia de la tensión eficaz, tal como la registran los varios voltímetros industriales.

A principios del siglo XIX, aun desconocidas las corrientes alternas, Ritter notó que la brusquedad era la condición necesaria para la producción de la excitación galvánica de los nervios. La corriente de un elemento de pila no produce efecto sensible sobre el cuerpo humano; si se introducían luego sucesivamente más elementos en el circuito sin cortarlo, se notó que el experimentador podía soportar, sin sentir conmoción incómoda, tensiones que, introducidas de golpe, le hubieran determinado sacudidas violentas. Se ve, pues, que aumentando paulatinamente la tensión, se atrasa mucho la aparición del umbral de la percepción dolorosa.

(1) *Peligro de las corrientes eléctricas industriales*. Informe en disidencia del Dr. Endoro Cisneros, 1911.

Más tarde, Du Bois Reymond supuso que la corriente no producía efectos fisiológicos sino en los primeros instantes y que éstos dependían de la derivada de la tensión con respecto al tiempo.

A pesar de las muchas tentativas para establecer leyes al respecto, estamos todavía en la misma duda. La teoría fundada por Nernst en 1908 sobre la hipótesis de que el cuerpo humano es un conductor electrolítico cortado por membranas semipermeables no basta para explicar en forma satisfactoria las acciones de la corriente.

Dejando, pues, aparte cualquier tentativa de explicación, veamos los efectos hoy día considerados verificados. ¿Hay un límite inferior á la tensión alterna nociva, y cuál es este límite?

Hasta hace poco tiempo se consideraba razonable distinguir las zonas como sigue: debajo de 100 voltios ningún peligro; de 100-150 voltios principio de la zona peligrosa; de 150 á 600 peligrosos serios; de 600 voltios arriba, altísimo peligro. Después los hechos han demostrado que aun 100 voltios no debía considerarse como el límite inferior de nocividad, y señalaremos el caso de un obrero de líneas (1) que recibió en el trabajo un choque mortal á 40 voltios 60 períodos. Felizmente tales accidentes son raros y suponemos que en aquel momento se había producido una sobretensión anormal.

En general las instalaciones eléctricas de 110 voltios han de considerarse indemnes de peligro serio. El Dr. J. P. Langlois (2) cita solamente tres casos que han llegado á su conocimiento. «Sin embargo, aun cuando no se puede establecer una estadística verdadera de los accidentes mortales observados con tensiones inferiores á 150 voltios (entre conductores y tierra) será suficiente citar algunos ejemplos: obrero empleado en el ferrocarril metropolitano, con los pies en el agua, las manos húmedas, muerto al enganchar una lámpara con corriente de 170 voltios entre conductor y tierra (3); una cocinera, ocupada en lavar el piso, con manos húmedas recibió un choque de 120 voltios. Una señora en un baño toca una llave mal aislada, sucumbe al paso de una corriente de 95 voltios.»

«Todas estas observaciones se refieren á personas que establecieron una fácil comunicación con tierra, á consecuencia de la humedad...» Volveremos sobre este punto al hablar de la influencia de la resistencia.

Recientes experiencias hechas por Berthon, Gagnières y Hédon en Montpellier, y por una Comisión del Ministerio de Obras públicas en la Escuela Superior de Electricidad de París confirman que las probabilidades de electrocución suben en proporción más rápida que la tensión, en todo caso, hasta 2.000 voltios.

Los americanos, á consecuencia de las desavenencias halladas con corriente de muy alta tensión, han decidido usar para la electrocución legal una primera tensión de 2.000 voltios y luego otra de 500 voltios y 60 períodos.

Intensidad.—La intensidad de la corriente que atraviesa el cuerpo depende de la tensión y de la resistencia ofrecida por aquél.

El profesor d'Arsonval había indicado 100 miliamperios como siempre mortal; nuevos estudios de Zacon presentados por él al Congreso de las aplicaciones eléctricas de Marsella (1908) hacen suponer que en este límite inferior debe rebajarse á 75 ó 80 miliamperios.

Si consideramos solamente tensiones industriales, creemos

(1) *Electrical World*, 15 de Julio de 1911.

(2) Dr. J. P. Langlois, «Les accidents d'électrocution» (*Revue générale des Sciences*, 30 de Abril de 1913.)

(3) Los accidentes deben ser por cierto muy escasos, puesto que para señalar tres fulminaciones debajo de 150 voltios, el Dr. Langlois tuvo que tomar uno producido con 170 voltios.

que el papel importante en esta clase de accidentes corresponde á la intensidad.

El aumento de la tensión tendría, á nuestro parecer, por objeto principal aumentar la intensidad á través del conductor humano.

Las cosas ya cambian completamente de aspecto con altas tensiones, donde, según el Dr. Langlois, la intensidad interviene solamente como efecto destructor de los tejidos en el trayecto de la corriente.

Resistencia.—La resistencia del cuerpo varía en alto grado no solamente de una persona á otra, sino también en una misma persona, según las circunstancias.

Esta resistencia debe, en efecto, considerarse como formada de dos partes: la de contacto y la interior. El tamaño de los electrodos, el estado más ó menos córneo, más ó menos húmedo de la piel, el sitio del contacto hacen oscilar la resistencia de contacto en condiciones sorprendentes. La forma de la corriente hace tal vez variar algo la resistencia; pero por la misma nocividad de la corriente las experiencias no pueden tener lugar con las tensiones industriales, y no hay razón de creer que el organismo humano se conduce como un conductor metálico y que su resistencia sea independiente del todo de la diferencia de voltaje entre los electrodos.

Los resultados más seguros sobre la resistencia se obtienen con el empleo del puente de Kohlrausch (puente de Wheatstone con micrófono). En esta forma la corriente utilizada no puede ser nociva. Prévost y Battelli indican 1.000 ohmios como resistencia del cuerpo abstracción hecha de la de contacto.

Estamos nosotros de acuerdo con los resultados obtenidos por el profesor Ernesto Drago (1), el cual indica 600 á 800 ohmios como valor medio, son los que obtuvimos dejando varios minutos las manos cada una en un vaso con agua salada.

Sin embargo, la resistencia del conjunto puede variar de 1.000 á 100.000 ohmios. Las investigaciones de Monmerqué y Trotter hacen ver que la resistencia de contacto depende en alto grado de la dimensión del contacto con los electrodos y de la humedad. Dichos físicos han hallado los siguientes resultados: Un obrero puesto sobre un terreno conductor tocaba con un dedo (1 centímetro cuadrado de superficie) y luego con la mano cerrada (15 centímetros cuadrados) un mismo conductor; la resistencia ha variado:

	CON CORRIENTE	
	Continua Ohmios.	Altern. Ohmios.
Superficie 1 centímetro cuadrado.....	51.000	15.000
Superficie 15 ídem íd.....	6.000	2.000
Con electrodos de 50 ídem íd. y manos secas....	3 á 7.000	3.000
Con electrodos de 50 ídem íd. y manos húmedas..	2 á 4.000	1.500

No sabemos á qué atribuir tal disminución de resistencia con la corriente alterna; sería este un factor más para explicar los peligros de esta forma de corriente.

Desde luego debemos insistir sobre este punto: no conocemos la resistencia del cuerpo humano bajo una corriente capaz de ser mortífera, ni cómo esta calidad se modifica con corrientes relativamente intensas (80 ó más miliamperios).

Sabemos solamente que con corrientes de 3 á 10 miliamperios usados en electricidad médica, la resistencia disminuye

bastante rápidamente después de pocos momentos de aplicada la corriente.

Frecuencia.—La frecuencia de las corrientes alternas usuales varía solamente de 15 á 60 períodos. Zacon, en el informe al cual nos referimos antes, admite que la nocividad crece para las tensiones industriales hasta 150 períodos, decreciendo luego, lo que nos demostraron también las clásicas experiencias de Tesla. Con 50 períodos la intensidad soportada por perros era más ó menos tres veces inferior á la que los mataba con corriente continua.

Posición de los electrodos.—Es este también un factor muy importante. Muchos autores aseguran que los accidentes más graves tienen lugar cuando el corazón está directamente en el trayecto de la corriente. Pero por lo demás no concuerdan entre sí las experiencias hechas sobre animales por varias Comisiones.

Duración del contacto.—El Doctor vienés Jellinek había establecido una fórmula que, según él, agrupa los varios factores que intervienen en la electrocución. Admite que el accidente depende en primer lugar del trabajo producido por la corriente. Llamando T este trabajo, E , I y R las constantes del circuito, t la duración del contacto, P un factor que depende de los contactos, extensión y sitio, y K_1 , K_2 , K_3 otras constantes personales escribe:

$$T = \frac{E I P}{R} K_1 K_2 K_3.$$

Notemos solamente la poca verosimilitud de esta fórmula.

Parece dudoso que sea así, tanto en lo que concierne á uno ú otro de los factores. Lo único que hoy día podemos deducir de las experiencias de Prévost y Battelli es que una duración de 0,3 segundos basta para la electrocución; es pues de suponer que para los efectos de la práctica, por pronto que intervenga el socorro, la corriente habrá producido sus destrozos irremediables, sean lo que sean.

Los fenómenos transitorios en corrientes continua y alterna.

Quando consideramos una corriente continua en régimen permanente, las únicas nociones que se requieren para el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos producidos derivan de la aplicación sencilla de las leyes de Ohm, de Kirchhoff y de Lentz, en que intervienen de un modo elemental y bien conocida resistencia, intensidad y diferencia de potencial.

Modificaciones notables ocurren solamente en tales circuitos en el acto de abrir ó de cerrar la corriente (extra-corriente de cierre y de ruptura). En tales casos nacen variaciones bruscas y generalmente muy breves, y un conjunto de fenómenos oscilatorios que el profesor C. P. Steinmetz ha estudiado magistralmente bajo el nombre de *fenómenos transitorios*.

Estos mismos fenómenos revisten un carácter mucho más grave, y más variado en circuitos de corrientes alternas, interviniendo en ellos á más autoinducción, inducción mutua y capacidad.

El estudio completo de las condiciones variables y transitorias en un circuito de corriente alterna es asunto sumamente complicado que el cálculo no puede resolver sino en condiciones particulares. Examinaremos solamente algunos casos sencillos, los cuales nos darán una idea de la importancia que reviste en la práctica.

Tomaremos como punto de partida el caso sencillo de establecimiento de una corriente continua en un circuito no inductivo, de luz por ejemplo.

(1) Profesor Ernesto Drago, de la Universidad de Catania, «I pericoli delle correnti elettriche». (*L'Electricista*, 15 de Abril de 1915.)

Sea i el valor de la intensidad variable de un circuito al tiempo t , i_0 ó i_1 sus valores al principio y en el estado permanente. Sean r la resistencia, L la inductancia del circuito, e_0 la fuerza electromotriz aplicada.

En el momento t , la tensión producida en el circuito por la resistencia r será ir , y la variación de la intensidad $\frac{di}{dt}$ habrá producido una tensión $L \frac{di}{dt}$. Tendremos, pues, la relación general:

$$e_0 = ir + L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Como, por otra parte, no interviene inducción cuando no hay más variación de intensidad, en el estado permanente, tendremos:

$$e_0 = i_1 r. \quad (2)$$

Si sustituimos en la (1), obtendremos:

$$(i - i_1)r = -L \frac{di}{dt} \quad (3)$$

ó bien

$$\frac{r}{L} dt = \frac{di}{i - i_1} \quad (4)$$

cuya integral general es:

$$\frac{r}{L} t = \log(i - i_1) - \log c, \quad (5)$$

donde c es una constante de integración..

Esta fórmula (5) puede escribirse:

$$i - i_1 = ce^{-\frac{r}{L}t} \quad (6)$$

Las condiciones iniciales nos permiten calcular el valor de c . En efecto, con $t = 0$ tenemos $i = i_0$; sustituyendo estos valores en (6), tendremos:

$$i_0 - i_1 = c,$$

de donde sacamos la ecuación de la corriente;

$$i = i_1 + (i_0 - i_1) ce^{-\frac{r}{L}t} \quad (7)$$

La intensidad aumenta, pues, en forma exponencial desde su valor primitivo hasta su valor final. Aplicando estos resultados á un circuito de luz donde

$$e_0 = 225 \text{ voltios } i_1 = 1.000 \text{ amperios.}$$

La resistencia de este circuito es

$$r = \frac{e_0}{i_1} = 0,225 \text{ ohmios.}$$

Supongamos una pérdida de 10 por 100 en los circuitos del feeder y de alimentación, una inductancia de 10 milihenry por ohmios en la línea.

$$L = 0,000225 \text{ henry.}$$

En el acto de cerrar el circuito supongamos $i_0 = 0$. Busquemos después de cuánto tiempo la corriente ha llegado á la mitad de su valor, ó sea 500 amperios.

$$500 = 1.000 (1 - e^{-1.000 t}),$$

de donde

$$e^{-1.000 t} = 0,5 \quad t = 0,00069 \text{ segundos.}$$

Demuestra esto que el estado variable en tal caso es sumamente corto y en la práctica despreciable.

Ya no sucede lo mismo tratándose de la excitación en el campo de un motor; pero ese caso no nos interesa á este punto de vista especial.

Si ahora tomamos el caso de un circuito de corriente alterna monofásica, intervienen resistencia, inductancia y capacidad. Nos interesa, especialmente, el caso donde están en serie, y que vamos á examinar.

Sea con las mismas notaciones del caso anterior, C la capacidad del condensador, definido por la relación:

$$i = C \frac{de}{dt}$$

que nos da:

$$de = \frac{1}{C} idt,$$

de donde:

$$e = \frac{1}{C} \int idt. \quad (1)$$

La fuerza electro motriz aplicada e consta, pues, de tres términos, una que proviene de la resistencia ri , la segunda de la inductancia $L \frac{di}{dt}$ y la tercera de la capacidad $\frac{1}{C} \int idt$. Podemos, desde luego, escribir:

$$e = ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt. \quad (2)$$

Si diferenciamos esta ecuación con respecto al tiempo, tendremos:

$$L \frac{d^2i}{dt^2} + r \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{de}{dt} \quad (3)$$

ecuación general de un circuito que contiene resistencia, inductancia y capacidad en serie.

Esta ecuación diferencial, bien conocida del segundo orden, con coeficientes constantes y segundo miembro variable, es la base principal de los estudios de los fenómenos oscilatorios.

Para simplificar esta rápida reseña, supongamos que el segundo miembro sea nulo (e constante, ó sea corriente continua), la ecuación diferencial (3) dividida por L , se escribe:

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{r}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0, \quad (4)$$

de la cual conocemos una solución particular

$$i = e^{-at} \quad (5)$$

Diferenciado (5) dos veces con respecto á t , y sustituyendo los valores así obtenidos en la ecuación (5), obtenemos:

Los valores de a que satisfacen á la ecuación diferencial son las que anulan el trinomio.

$$e^{-at} \left(a^2 - \frac{r}{L} a + \frac{1}{CL} \right) = 0. \quad (6)$$

Según el signo de la cantidad bajo radical:

$$\Delta = \frac{r^2}{4L^2} - \frac{1}{CL}$$

a tendrá valores imaginarios ó reales.

Si $\Delta < 0$, α es una imaginaria y la solución general de la ecuación (3) es una expresión de la forma

$$i = Me^{-at} \sin(bt + n) \quad (7)$$

en que $b^2 = -\Delta$ y M y n dos constantes de integración que dependen de las condiciones impuestas. Es, pues, un movimiento periódico amortiguado.

Si, al contrario, $\Delta \geq 0$ el movimiento es aperiódico y no se produce fenómeno de interés para nosotros.

En el movimiento periódico amortiguado expresado por (7), las elongaciones sucesivas siguen una ley logarítmica, y el período resulta ser:

$$T = \frac{2\pi}{b} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{R^2}{L^2} - \frac{4}{CL}}} \quad (8)$$

Examinaremos ahora el caso en que el segundo miembro de la ecuación diferencial (3) en lugar de ser nulo sea una función sinusoidal, es decir, la forma más sencilla de una función periódica:

La ecuación diferencial será, pues:

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{r}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = \frac{P}{LC} \sin(dt + \varphi). \quad (9)$$

Tenemos una solución particular de (8) con la expresión

$$i_1 = F_1 \sin(dt + \varphi - \psi).$$

Si derivamos i_1 dos veces con respecto a t , y que sustituimos en (9), hallamos los valores de F_1 y de ψ que satisfacen a ésta. Son:

$$F_1 = \frac{P}{c \sqrt{\left(\frac{1}{c} d^2\right)^2 + \frac{r^2}{L^2} d^2}}$$

$$\tan \psi = \frac{rcd}{1 - d^2LC}$$

Por otra parte, en el caso del movimiento periódico, el único que nos interesa, tenemos otra solución particular, la que hemos hallado en el caso del segundo miembro nulo, ó sea:

$$i_0 = Me^{-at} \sin(bt + \varphi), \quad (10)$$

de modo que la solución general será:

$$i = i_0 + i_1. \quad (11)$$

En la expresión (11) i_0 representa la parte transitoria del movimiento, la cual se superpone a la parte sinusoidal permanente i_1 del mismo.

El período de i_0 es generalmente distinto del de i_1 ; depende, exclusivamente, de las relaciones entre las varias constantes del circuito.

Si, en fin, consideramos el caso general de una fuerza electromotriz periódica que puede desarrollarse en serie de Fourier, de tal modo que

$$\frac{de}{dt} = f_0 + \frac{1}{LC} \sum_{n=1}^{\infty} P_n \sin(ndt + \varphi_n). \quad (12)$$

La solución general de la ecuación diferencial seguiría siendo:

$$i = i_0 + \sum_{n=1}^{\infty} i_n,$$

con la condición que

$$i_n = F_n \sin(ndt + \varphi_n - \psi_n),$$

en la cual F_n y ψ_n se definen como F_1 y ψ_1 en el caso anterior.

Según las condiciones de resonancia de las armónicas de mayor importancia, pueden producirse elevaciones momentáneas considerables de la intensidad y de la tensión.

H. M. LEVYLLIER.

(Continuará.)

(De los Anales de la Sociedad Científica Argentina.)

LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA DE ESPAÑA Y SUS APLICACIONES

(CONTINUACIÓN) (1)

Principales aplicaciones industriales de la energía eléctrica.

En términos generales puede hacerse la siguiente clasificación de las aplicaciones industriales, de importancia, de la energía eléctrica:

- 1.º Alumbrado.
- 2.º Calefacción.
- 3.º Fuerza motriz para la industria en general.
- 4.º Tracción eléctrica aplicada a los transportes.
- 5.º Aplicaciones electroquímicas.

Las cuales, a su vez, pueden subdividirse en

- a) Utilización de la energía eléctrica como medio de producir calor; y
- b) Utilización de la energía para la electrólisis.
- 6.º Aplicaciones electromagnéticas.

Aplicaciones de la energía eléctrica para alumbrado.

Respecto del alumbrado eléctrico poco nuevo puede decirse que no sea del dominio público.

Es oportuno, no obstante, mencionar que los perfeccionamientos de las lámparas incandescentes han reducido en tales proporciones el consumo de energía eléctrica, que no hay otro procedimiento de alumbrado más barato ni más cómodo, lo que ha determinado su generalización en todas las partes del mundo, a pesar del último esfuerzo de los gasistas con el empleo de los manguitos incandescentes y con la utilización del gas a gran presión.

Calefacción eléctrica.

No puede decirse lo propio acerca de esta aplicación doméstica de la electricidad que, sólo en casos particulares, podrá proporcionar ventajas derivadas de la facilidad y rapidez de su uso en un momento dado y de la limpieza y facilidad de traslado de los aparatos empleados para convertir la electricidad en calor; fuera de esto, no se vislumbra siquiera la posibilidad de obtener por este procedimiento ventajas económicas sobre los de producción y distribución del calor hoy en uso, aun con precios de la energía eléctrica mucho más bajos que los actuales.

Aplicaciones de la electricidad como fuerza motriz.

Por lo que se refiere a la utilización de la energía eléctrica como medio de transportar y aplicar la energía mecánica, el dominio de la electricidad es prácticamente absoluto.

(1) Véase el número anterior.