

# Nociones de distribución de energía eléctrica

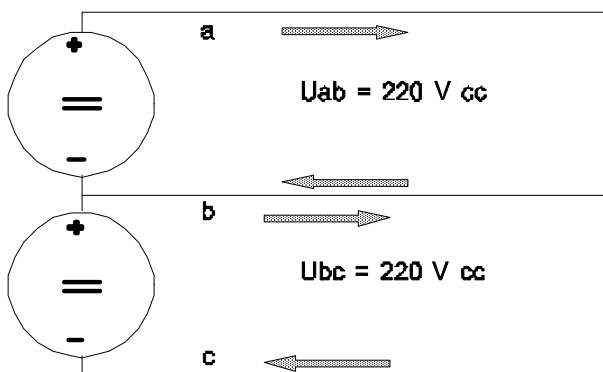
6.Feb.99 - Inés Díaz, Elena Meurisse y Agustín Rela  
Cátedra de Física  
CBC-UBA

## Corriente continua y alterna

Las primitivas instalaciones de distribución de energía eléctrica eran de corriente continua. Una desventaja de esa modalidad de distribución era que los arcos eléctricos de los cortocircuitos accidentales se mantenían encendidos y causaban incendios; en cambio la alterna interrumpe el arco 100 ó 120 veces por segundo. Otra desventaja era la dificultad de transformar la tensión a otros valores, pues los transformadores sólo funcionan con c.a.<sup>1</sup>. Otro inconveniente era que los motores tenían que tener escobillas rozantes que se gastaban, como sucede con las de los motores de los limpiaparabrisas de los coches. (En cambio con c.a. se pueden hacer rotar los campos magnéticos.)

Una curiosidad de la distribución de c.c.<sup>2</sup> fue el sistema Dolivo-Dobrowolsky, que se usaba para ahorrar cobre. En vez de usar un generador de corriente continua, se ponían dos en serie.

Las viviendas se conectaban entre **a** y **b** y entre **b** y **c** (entre **a** y **c** había 440 V). Si el consumo era parejo en ambas mitades, la corriente en el cable **b** era pequeña, y éste podía ser, entonces, de menor sección. La justificación de por qué la corriente en el cable central es pequeña o nula es sencilla si en vez de aplicar las leyes de Kirchhoff se recurre al modelo hidráulico.



<sup>1</sup> c.a. : Corriente alterna,  
<sup>2</sup> c.c. : Corriente continua

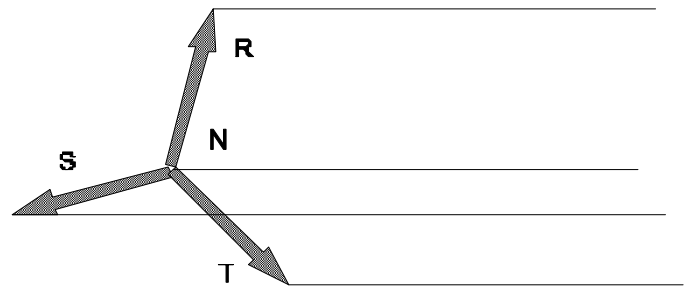
La sección de los conductores, naturalmente, tiene que ser mayor cuanto mayor sea la corriente que conducen. El valor apropiado de la sección se determina experimentalmente, aunque es posible hacer un cálculo a partir de la resistividad del material conductor, su disipación al ambiente a través de la vaina aislante; intervienen otras consideraciones relacionadas con los conductores vecinos, la ventilación de los conductos, etcétera. La temperatura del metal no debe exceder la que tolera el aislante que lo recubre.

Esa forma de distribución podía ahorrar casi la mitad del cobre que sería necesario emplear si se utilizase un solo generador. (Uno de nosotros recuerda haber sido un usuario de ese sistema en 1950, con la Compañía Ítalo Argentina de Electricidad.)

## Distribución monofásica y trifásica

El conductor **b** del circuito Dolivo-Dobrowolsky tiene alguna semejanza con el neutro del actual sistema de alimentación alterna 3x220/380V.

En los sistemas trifásicos las tensiones R-N, S-N y T-N, que tienen una variación senoidal con respecto al tiempo, están desfasadas entre sí



tercios de período. Así, en cada instante las tres tensiones suman cero, lo mismo que las corrientes si están en fase y equilibradas, lo que ocurre aproximadamente en la práctica. Lo mismo ocurre con las tensiones R-S, S-T y T-R: suman cero.

La tensión alterna entre cualquier par de las fases R, S o T es de 380 V, mientras que la tensión entre cualquiera de ellas y el neutro N es de 220 V. Las viviendas se conectan a R-N, S-N y T-N. Si los consumos son parejos, entonces la corriente del neutro es pequeña y se ahorra casi la mitad del cobre, en comparación con el que habría que emplear si se alimentaran las viviendas con un solo circuito de 220 V.

Veamos esto con un ejemplo: *Si 90 casas consumen 10 A cada una a 220 V, tenemos un consumo de 198.000 VA. Un solo circuito de 220 V debería portar 900 amperes en sus dos cables. En cambio, con 220/380, la misma potencia de 198.000 VA se divide entre las tres fases a razón de 66.000 VA por fase, que a 220 V significan 300 A en cada uno de los tres cables. (Si la carga está bien repartida, se puede desprestigiar la corriente de neutro.)*

Para comparar las secciones de cobre tenemos, entonces,  $2 \times 900 = 1800$  para el caso monofásico, y  $3 \times 300 = 900$  para el trifásico; la distribución trifásica ahorra la mitad.

En nuestro país, gracias a haber elegido una tensión de 220 V en vez de 110 como otros, la corriente es la mitad para la misma potencia, entonces tenemos por ello un ahorro adicional en conductores. El riesgo eléctrico de los 220 V es sólo un poco mayor que el de los 110 V; no es que haya el doble de muertes por accidente, y la aislación para 110 V es prácticamente igual que la necesaria para 220 V, pues su grosor se determina por exigencias mecánicas durante la instalación, más que las eléctricas durante el servicio.

### **Alta, media y baja tensión**

Si una casa consume 10 A, suele estar alimentada por cables de 2,5 mm<sup>2</sup> de sección. Si hay 100 de ellas en una manzana, los cables ya tienen que tener unos 3 cm de grosor y se hace difícil doblarlos y pasarlos por túneles o sujetarlos a postes. Un barrio de 100 manzanas requeriría de conductores de 30 cm de diámetro y se tornaría

impráctico manejar semejante sección de cobre. Y ni hablemos de alimentar todo un pueblo o una ciudad; si nos impusiésemos hacerlo con 220 V, deberían llegar gigantescos conductores hasta los bornes del generador. (En este razonamiento hemos supuesto una sección proporcional a la corriente. En realidad la relación no es lineal y es más desfavorable que la supuesta, pues los conductores gruesos tienen mayor dificultad de disipación de energía que los delgados.)

La potencia eléctrica está dada por el producto de la tensión, por la corriente, por el coseno del ángulo temporal de desfase entre ellas. Olvidemos por ahora el coseno de  $\phi$ , y notemos que si la tensión es más elevada, la corriente es más baja para la misma potencia, entonces los cables pueden ser más delgados.

Alimentar 10 barrios de 100 manzanas de 100 casas cada una que consumen 10 A, demanda una potencia de 220 megavoltamperes. A 220 V, eso significa un millón de amperes, corriente gigantesca que no podríamos ni generar, ni conducirla si pudiéramos.

Pero supongamos que, en vez de 220 V, usamos 220 kilovolts. la tensión es mil veces mayor y, para la misma potencia, la corriente resulta mil veces menor: 1000 A, perfectamente posibles de conducir en líneas aéreas o subterráneas cuyos cables suelen ser de 2 ó 3 cm de diámetro.

Por eso las líneas de transmisión de energía a grandes distancias se hace en 500, 220 ó 132 kV; es para ahorrar gasto en cobre, aunque aumente el costo de la aislación.

Por razones de aislación, los generadores no pueden trabajar, en esta época, con más de 10.000 ó 20.000 V. Las corrientes que generan son entonces muy grandes, y requieren de ciertos cuidados para conducirla; los conductores de salida suelen tener un decímetro cuadrado de sección, y los cortocircuitos desarrollan fuerzas enormes que tuercen los conductores. A pocos metros de un generador, hay un transformador, o varios, que elevan la tensión a 132, 220 ó 500 kV. Así se

transmite la energía hasta estaciones transformadoras ubicadas en los poblados, que bajan esa alta tensión a 33.000 ó a 13.200 V (estos valores se consideran como *media* tensión. Con ese valor se distribuye en la ciudad y suburbios, hasta llegar a transformadores que alimentan una o varias manzanas, donde se baja otra vez la tensión con transformadores cuyo primario se alimenta con 13.200 V trifásicos. El secundario es en estrella de 380 V entre puntas o líneas, y 220 V entre cada línea y neutro.

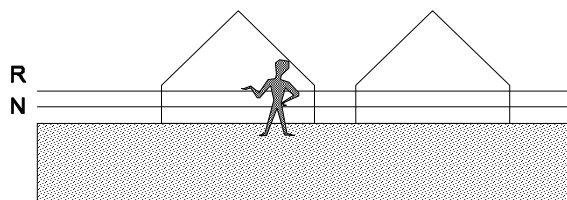
En esos transformadores se conecta el neutro a tierra a través de una barra de cobre enterrada, llamada jabalina de puesta a tierra.

### Vivo, neutro, positivo, negativo

Aunque popularmente se llama negativo al neutro y positivo al vivo, esa denominación es errada, pues la polaridad cambia de positivo a negativo y de negativo a positivo 50 veces por segundo en nuestro país (60 en otros); así la polaridad cambia 100 veces por segundo, de modo que no es posible hablar con propiedad del polo positivo y del negativo de una línea de alterna.

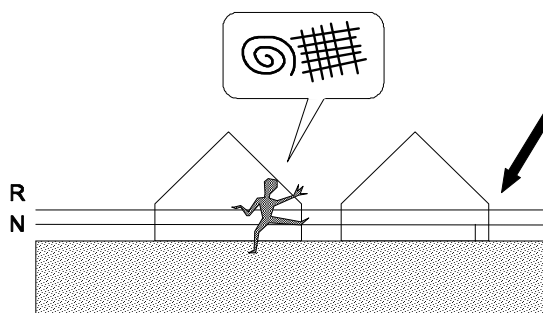
Los conductores vivos son R, S y T; el neutro es N, o sea el centro de la estrella secundaria del transformador de manzana o de edificio.

Podríamos preguntarnos por qué se conecta el neutro a tierra en vez de dejarlo en paz. (Con el neutro al aire, o flotante, los artefactos de las viviendas funcionarían igualmente.) Si, en ese hipotético caso, todas las instalaciones estuvieran en perfecto e ideal estado (o sea completamente aisladas de tierra), podríamos tocar cualquiera de los conductores de un tomacorriente, descalzos y sobre el piso mojado (**ino lo hagan!**), sin peligro ni molestia.



**Neutro imaginariamente aislado. Una falla N-tierra haría aparecer tensión entre R y tierra. Una falla R-tierra, en cambio, tensionaría el neutro con respecto a tierra.**

Pero... ¿qué ocurriría si uno de los cables (digamos el neutro) de un vecino se pone accidentalmente a tierra, por ejemplo por estar pelado dentro de un caño metálico? En ese mismo instante, en esa casa y en todas las otras alimentadas por el mismo transformador, se notará que hay tensión entre fase y tierra, cuando hasta el día anterior no la había en este caso ficticio que estamos considerando.



**Neutro a tierra (caso real), con tensión entre fase y tierra. Una falla entre R y tierra produce un cortocircuito; las N-tierra no afectan las instalaciones comunes.**

Si ese vecino (o vecina) arregla su cable, pero se le pone una fase a tierra por accidente, en vez de aterrarse el neutro como le acababa de suceder, en esa casa y en todas las otras de la manzana o de la zona alimentada por el transformador, comenzará a notarse que es el neutro, ahora, quien tiene tensión con respecto a tierra, mientras que una fase no la tiene, y las otras dos tienen 380 V con respecto a tierra.

Puesto que es inevitable que siempre haya alguna falla (y, aunque no la hubiera, existen pequeñas fugas y capacidades a tierra), la compañía de distribución prefiere definir de una vez para siempre cuál será el conductor de potencial cero con respecto a tierra (de ese modo las tres fases quedan vivas), y ya nadie tendrá sorpresas ni sufrirá efectos erráticos en las tensiones de los bornes de sus tomacorrientes.

Eso sí: cada vez que un cable vivo toque tierra, generará un cortocircuito. En cambio, una conexión accidental del neutro a tierra no tendrá efecto en una instalación ordinaria.

## Disyuntores

Una forma de hacer que se interrumpa la alimentación en caso de falla es la colocación de fusibles, o sea cables delgados que se funden y evitan daños mayores a la instalación cuando hay fallas o sobrecargas.

Más prácticos que los fusibles son las llaves termomagnéticas: si la sobrecarga dura demasiado tiempo, un bimetálico se calienta, se arquea y dispara el desenganche. Una vez ubicada la falla (o desconectado el exceso de artefactos) hay que aguardar unos minutos hasta que se enfríe el bimetálico, bajar del todo la llave para rearmarla, y subirla para dejarla conectada otra vez.

Si la corriente es muy grande por haber un cortocircuito (y no una simple sobrecarga), el bimetálico tardaría menos en arquearse, pero aun así el tiempo de intervención sería innecesariamente prolongado y aumentarían los daños causados por el corto. Se agrega, entonces, un imán a la llave, sobre el que actúa casi instantáneamente un conductor cercano, así se desengancha la llave inmediatamente. Resuelto el inconveniente (por ejemplo un enchufe roto o un cable de tostadora quemado sobre la hornalla), se rearma la llave sin necesidad de esperar unos minutos, pues nada se ha recalentado esta vez.

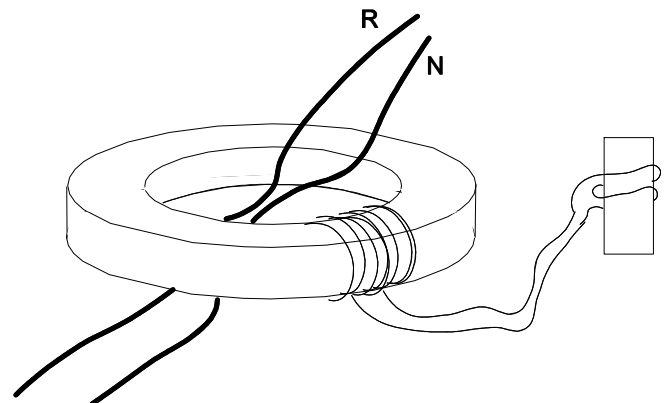
Hay llaves termomagnéticas trifásicas, monofásicas y bifásicas. Entre las trifásicas hay unas llamadas guardamotors, o salvamotors, que actúan cuando se desequilibran en demasía las corrientes de cada fase de un motor, aunque el valor de las corrientes sea moderado. (La falta de alimentación en una fase es una de las causas por las que se suelen quemar los motores.)

## Disyuntor diferencial

Uno de los modelos más útiles de llaves de protección es el disyuntor diferencial, que a veces está integrado a una protección térmica demorada y una magnética instantánea; otros modelos tienen sólo la protección diferencial, y así la protección contra sobrecargas y cortocircuitos queda a cargo de otra llave en serie con la diferencial.

El disyuntor diferencial está formado por un toro de material ferromagnético por cuya abertura pasan el vivo y el neutro de la instalación. Alrededor del cuerpo del toro hay un bobinado de muchas vueltas conectado a un electroimán.

Mientras la corriente del vivo sea igual (y



opuesta) a la del neutro, el toro queda sin magnetizar, porque la corriente neta que atraviesa la ventana es nula.

Si, por una falla a tierra, la corriente que entra no es igual a la que sale, la diferencia magnetiza el toro, se induce tensión en el bobinado y el electroimán desengancha la conexión. De ese modo se protege a las personas que hayan tocado accidentalmente el vivo y les esté circulando corriente entre el punto de contacto con la red, y

los pies o la parte del cuerpo que esté a tierra en ese momento.

Para que actúe un disyuntor diferencial tiene que haber una falla. Para que salve a una persona, la persona tiene que sufrir la descarga (aunque por breve tiempo gracias a la protección). El disyuntor no evita, entonces, las sacudidas, pero hace que duren muy poco tiempo, y así el corazón queda menos expuesto a la fibrilación u otros trastornos.

Los disyuntores están regulados para saltar con 20 ó 30 miliamperes; si se los hiciera más sensibles, actuarían por las pequeñas fugas y corrientes capacitivas que hay en toda instalación.

En 1997 EDESUR colocó disyuntores diferenciales colectivos, a razón de uno o dos por cuadra, en zona suburbana. Saltaban a menudo por las conexiones ilegales de algunos vecinos que robaban energía a la compañía por el método de engancharse del vivo y tomar tierra de la bomba de agua de su casa. Los vecinos (tanto los ladrones como los honestos) protestaban, la compañía detectaba y eliminaba la conexión ilegal, y reponía el servicio. El robo resultó tan frecuente, que los vecinos hicieron oír airadas voces de protesta, hasta que se produjo una disputa legal entre el presidente de la compañía y un juez que ordenó retirar esas protecciones.

Se discutían argumentos relacionados con el derecho al servicio, el robo de energía y la protección de las personas contra los accidentes eléctricos. Prevaleció el criterio del juez y se retiraron los disyuntores colectivos. Los vecinos debían comprar aparte, si la querían, la protección diferencial, e instalarla en el interior de sus propias viviendas.

En ese incidente se perdió calidad de servicio y seguridad personal, por la incultura y la pobreza que inducen a algunos a establecer conexiones fraudulentas, y hay quienes opinan que no debieron retirarse las llaves diferenciales. Otros consideran que el derecho a la energía eléctrica es independiente de que alguien pueda robarla, y que el proveedor no tiene el derecho de cortar el

servicio a unos por los robos que cometen otros, ni el de imponer medidas de seguridad, sirvan o no para proteger además, en este caso, su propiedad sobre la energía.