

Introducción a los Sistemas Eléctricos de Potencia

Iván Matulic

Empresa Eléctrica Corani S.A.
e-mail: matulici@corani.com

1. Introducción

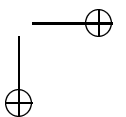
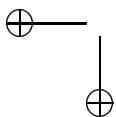
En el mundo en que vivimos, la energía eléctrica está presente en tantas de las actividades que realizamos que sería imposible concebir la civilización actual sin ella. Las industrias que fabrican los productos que necesitamos, la iluminación de nuestros hogares y ciudades, el teléfono, la radio, la televisión, la internet que permiten comunicarnos, los medios de transporte terrestre, acuático y aéreo que utilizamos para desplazarnos de un lugar a otro, son algunos de los innumerables ejemplos en los que la electricidad está presente. Y, precisamente por ser éste un fenómeno que damos por hecho, es posible que no conozcamos los procesos que hacen que todo esto sea posible.

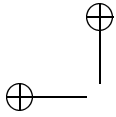
El presente artículo tiene el objetivo de brindar al lector una visión general de los sistemas eléctricos de potencia encargados de convertir la energía a su forma eléctrica, transportarla y distribuirla para su consumo. Describe sus componentes principales y los principios básicos de su funcionamiento. Finalmente, presenta una descripción del Sistema Interconectado Nacional de Bolivia.

2. Cantidades básicas para entender la electricidad

La electricidad es un fenómeno físico basado en las propiedades de la materia. Una de ellas, la movilidad de los electrones que forman parte de los átomos de cierto tipo de materiales (llamados *conductores*), permite transferir energía y convertirla en variadas formas para su utilización. Por lo tanto, el proceso de transferir y utilizar energía en su forma eléctrica está basado, esencialmente, en el movimiento de los electrones.

El número de electrones que se mueve se denomina *carga eléctrica* y se mide en Colombios (C). La relación temporal del movimiento de los electrones se denomina *corriente eléctrica* y se mide en Amperios (A). La corriente eléctrica no es una medida de la velocidad del movimiento de las cargas, más bien se define como la cantidad de carga que pasa por un punto en una dirección y en un tiempo determinado. El potencial necesario para mover las cargas o el potencial contenido en las cargas en movimiento





se denomina *voltaje* y se mide en Voltios (V). Finalmente, la velocidad con la que se transfiere o consume la energía eléctrica se denomina *potencia eléctrica* y se mide en Vatios (W).

El flujo de la carga eléctrica puede ser contínuo en una sola dirección (*corriente continua*) o alternante (*corriente alterna*), es decir la carga “va y viene” a una razón determinada por la *frecuencia* del sistema que se mide en Hertz (Hz). Por ejemplo, si la frecuencia es 50 Hz, la carga “va y viene” 50 veces por segundo.

3. Sistemas eléctricos de potencia

Un sistema eléctrico de potencia es un conjunto de dispositivos que convierte energía de una forma primaria a energía eléctrica, la transporta y la distribuye a los consumidores finales. Por razones históricas y de eficiencia se adoptó en forma generalizada el uso de la corriente alterna.

Un sistema eléctrico de potencia está compuesto por tres componentes principales: generación, transmisión y distribución.

4. Generación

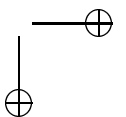
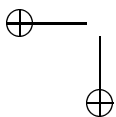
La generación es la parte encargada de convertir la energía de una forma primaria a energía eléctrica. Esto es posible gracias al principio de conversión electromecánica de energía, el cual postula que el movimiento de un conductor que forme un circuito cerrado dentro de un campo magnético induce en él una corriente eléctrica. De esta manera, la energía involucrada en crear ese movimiento mecánico se convierte en energía eléctrica contenida en el flujo de los electrones. Como todo proceso físico, esta conversión no es 100% eficiente, sino que está sujeta a pérdidas.

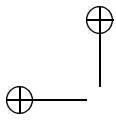
Los dispositivos encargados de convertir la energía primaria en energía mecánica son las *turbinas* y los *motores impulsores*; los dispositivos que convierten la energía mecánica en energía eléctrica se denominan *generadores eléctricos*.

Existen diversos tipos de generación, cuyo uso está determinado por las fuentes primarias de energía existentes:

Hidráulica. Utiliza la energía contenida en el flujo de agua como la forma primaria de energía. Existen centrales hidráulicas *de pasada* que no tienen capacidad de almacenamiento y generan en función al flujo de agua existente. También existen centrales hidráulicas *de almacenamiento* que guardan el agua en embalses para su utilización posterior, según sea requerida.

Térmica. Utiliza la energía contenida en diversos tipos de combustibles fósiles (gas natural, carbón, diesel, etc.) para generar energía mecánica en las turbinas o motores impulsores.





Nuclear. Utiliza reacciones nucleares controladas para generar calor y, por medio de calderos de agua, generar a su vez vapor que impulsa a las turbinas.

Eólica. Utiliza la energía del viento como forma primaria de energía.

Solar. Utiliza la energía de la radiación solar como forma primaria de energía. Se hace notar que el proceso de conversión de la energía solar no es electromecánico.

5. Transmisión

La transmisión es la parte encargada de transmitir grandes bloques de energía de los centros de producción (centrales generadoras) a los centros de consumo (ciudades, parques industriales, aeropuertos, etc.) Para ello, se utilizan conductores (llamados comunmente *líneas*) como el medio físico por el que fluye la carga eléctrica.

Por razones de eficiencia, la transmisión de energía eléctrica debe efectuarse a niveles de voltaje elevados (lo que se denomina *alto voltaje* o *alta tensión*), siendo el nivel determinado por la cantidad de energía transmitida. De no hacerse esto, el calentamiento de los conductores terminaría por fundirlos. Para elevar el nivel de voltaje se utilizan dispositivos llamados *transformadores eléctricos*.

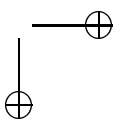
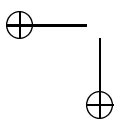
6. Distribución

La distribución es la parte encargada de distribuir la energía eléctrica a los consumidores finales. Es decir, los sistemas de distribución son los que llevan la energía eléctrica a las industrias, los hogares, la iluminación urbana, etc. Esto se efectúa también por medio de líneas de distribución y transformadores que, por razones de seguridad, bajan el voltaje a niveles seguros.

Estos tres componentes principales de un sistema de potencia requieren, además, de muchos otros dispositivos para su operación. Por ejemplo, existen *interruptores* y *seccionadores* para abrir y cerrar circuitos y de esa manera proveer o cortar el suministro eléctrico. También existen *sistemas de protección* que, ante una falla en cualquier componente lo aíslan automática y selectivamente, no sólo por protección misma del componente o de las personas, sino también para evitar interrumpir el suministro de energía a los consumidores no afectados directamente por la falla.

7. Conceptos básicos de funcionamiento de un sistema de potencia

El proceso de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica es esencialmente instantáneo, ya que la energía eléctrica en forma de corriente alterna no se puede almacenar. Esto significa que, por ejemplo, al encender la iluminación de la casa, la energía requerida es generada en alguna central, transmitida a través del sistema de transmisión hasta la ciudad donde uno vive y finalmente suministrada al hogar por el



sistema de distribución, todo a una velocidad cercana a la de la luz. Además, en todo momento se debe cumplir el *balance de potencia*, es decir, la generación debe ser igual al consumo más las pérdidas.

Otras condiciones que se debe respetar en este balance son las siguientes:

- Mantener el voltaje dentro de límites razonables.
- Mantener constante la frecuencia.
- No sobrecargar transformadores ni líneas.
- Preservar la naturaleza senoidal de las ondas eléctricas.

El comportamiento de un sistema de potencia es dinámico, ya que el consumo de energía varía en función del tiempo (Figura 1). En cada instante, la potencia generada debe ser exactamente igual a la consumida más la pérdida en los procesos de generación, transmisión y distribución. De no cumplirse esta condición, los generadores del sistema -que siempre funcionan a una velocidad constante para mantener constante la frecuencia eléctrica- se acelerarían o desacelerarían dependiendo de si existe un exceso o déficit de generación, respectivamente. Para mantener el balance y la estabilidad en todo momento, existen mecanismos de control en las centrales que, ante un aumento o disminución en el consumo eléctrico, automáticamente aumentan o disminuyen la potencia mecánica entregada por las turbinas a los generadores.

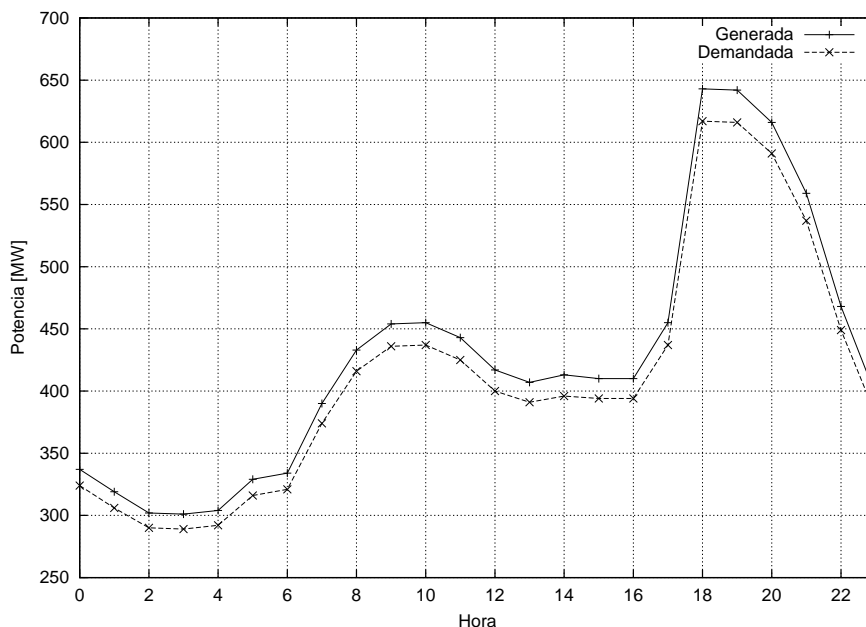
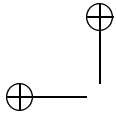


Figura 1: Curva diaria de carga.

Este balance dinámico es similar a manejar una bicicleta. La premisa es mantener la velocidad constante, independientemente del camino. Si nos toca una subida, debemos



aumentar la fuerza del pedaleo para no disminuir la velocidad; por el contrario, si nos toca una bajada, debemos disminuir el pedaleo y aún frenar para no aumentar la velocidad.

8. Despacho económico hidrotérmico

Otro aspecto importante para entender la operación de un sistema eléctrico de potencia es el *despacho económico hidrotérmico*. Al planificar la operación del sistema en un lapso de tiempo (un año, un mes, una semana, un día o una hora), se debe planificar el origen de la energía a ser generada. El despacho económico hidrotérmico consiste en calcular la proporción de energía hidráulica y térmica, para el período considerado, que resulte en el menor costo de generación. Es un proceso estocástico por la aleatoriedad de la hidrología; es decir, la cantidad de energía hidráulica que se puede almacenar en los embalses o turbinar en las centrales de pasada depende del régimen de lluvias que sólo se puede predecir con un cierto nivel de probabilidad. Por lo tanto, la decisión de generar más o menos energía hidráulica y consecuentemente térmica está asociada a una probabilidad hidrológica.

Para minimizar el costo total de generación, primeramente se coloca la generación hidráulica (que no tiene un costo directo asociado al agua) y luego la generación térmica en orden creciente de su costo que se relaciona al precio del combustible y la eficiencia de las diferentes turbinas. En este proceso, se debe considerar la capacidad de los embalses para evitar que rebalsen o se vacíen; en el primer caso, se pierde energía que podría haber sido utilizada y en el segundo, se incurre en el riesgo de no suministrar la energía demandada por los consumidores.

9. El Sistema Interconectado Nacional boliviano

En Bolivia, el Sistema Interconectado Nacional (SIN) comprende a las centrales generadoras, sistema de transmisión y redes de distribución que proveen de energía eléctrica a las principales ciudades de nuestro país. El SIN abarca los departamentos de La Paz, Santa Cruz, Cochabamba, Oruro, Potosí y Sucre. En los demás departamentos, existen sistemas eléctricos aislados. La demanda total en el SIN equivale aproximadamente al 90 % de la demanda del país. El SIN se caracteriza por tener tres áreas bien definidas: Norte (La Paz), Oriental (Santa Cruz) y Centro-Sur (Cochabamba, Potosí y Chuquisaca). Cada área tiene una demanda equivalente a aproximadamente un tercio del total. La Figura 2 muestra los sistemas eléctricos de Bolivia.

La generación de energía eléctrica en el SIN está a cargo de ocho Empresas Generadoras, constituidas a partir del proceso de capitalización efectuado en el año 1995. El detalle de estas empresas y su capacidad instalada a fines del año 2002 se da a continuación:

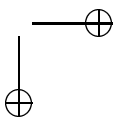
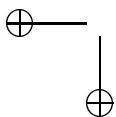




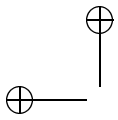
Figura 2: Sistemas eléctricos de Bolivia (Fuente: Página Web del CNDC).

Empresas Generadoras Hidroeléctricas

- Corani (126.0 MW)
- COBEE (201.7 MW)
- Hidroeléctrica Boliviana (90.5 MW)
- Synergia (7.6 MW)
- Río Eléctrico (18.5 MW)

Empresas Generadoras Termoeléctricas

- Guaracachi (295.8 MW)
- Valle Hermoso (130.5 MW)



- Bulo Bulo (87.2 MW)
- COBEE (18.0 MW)

La Figura 3 muestra, porcentualmente, la composición del parque generador en Bolivia.

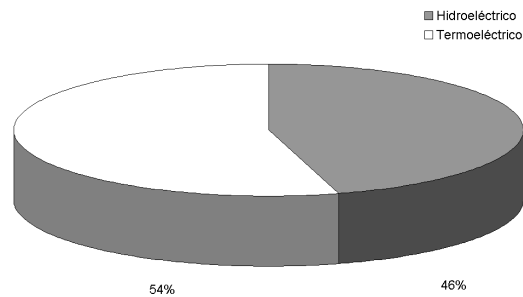


Figura 3: Composición del parque generador en Bolivia.

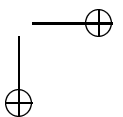
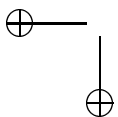
El sistema de transmisión está a cargo de una sola empresa, TDE (Transportadora de Electricidad). Las líneas de alta tensión que constituyen el sistema de transmisión del SIN consisten de:

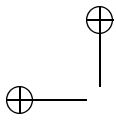
- 535.5 km en 230 kV
- 863.0 km en 115 kV
- 100.1 km en 69 kV

Existen seis Empresas de Distribución en los departamentos que abarca el SIN:

- CRE (Santa Cruz)
- ELECTROPAZ (La Paz)
- ELFEC (Cochabamba)
- ELFEO (Oruro)
- SEPSA (Potosí)
- CESSA (Chuquisaca)

Finalmente, existen dos empresas de gran consumo conocidas como Consumidores No Regulados:





- Inti Raymi
- RGB Vinto

A pesar que existe un mayor porcentaje de generación termoeléctrica instalada en el país en comparación a la generación hidroeléctrica, la producción de energía eléctrica en el SIN durante los últimos años ha tenido un mayor componente hidroeléctrico, tal como se muestra en la Figura 4.

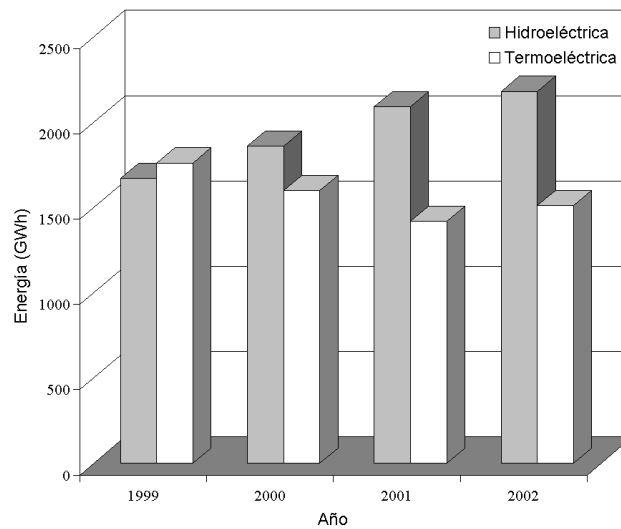


Figura 4: Producción de energía eléctrica en el SIN.

10. Conclusión

Para que la energía eléctrica llegue a nuestros hogares, industrias y ciudades se requiere de complejos procesos y dispositivos. El conjunto de estos últimos, llamado un sistema eléctrico de potencia, ha sido descrito conceptualmente en este artículo, así como algunos principios básicos de su funcionamiento. También se ha dado una breve descripción del Sistema Interconectado Nacional de Bolivia, junto a algunas estadísticas de la producción de energía. De esta manera, confío que el lector afiance sus conocimientos sobre un tema que, de una manera u otra, está siempre presente en nuestras vidas.

Referencias

- [1] Comité Nacional de Despacho de Carga, Cochabamba, Bolivia. *Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista Boliviano 1996 - 2001, 2002.*
- [2] Comité Nacional de Despacho de Carga, Cochabamba, Bolivia. *Resultados de la Operación del Sistema Interconectado Nacional 2002, 2003.*

