

Puntos de vista generales que debe tener presente el ingeniero
que proyecta una línea de transmisión eléctrica
por

JULIO IBÁÑEZ V.

El problema de una transmisión eléctrica, como cualquiera otro problema de ingeniería, debe resolverse teniendo en vista dos aspectos, generalmente antagónicos; la seguridad de la transmisión y la economía. Ambas condiciones deben ser satisfechas dentro de las exigencias de un buen funcionamiento bajo el punto de vista electrotécnico.

Es preciso tener presente que la línea de transmisión es el punto más débil de un sistema de utilización de la energía eléctrica, al mismo tiempo que representa en la mayoría de los casos la parte más costosa de este sistema. Por esto será del mayor interés para el ingeniero proyectista el estudio minucioso, tanto del aspecto económico como de la seguridad de la línea.

Los esfuerzos que se hagan para alcanzar la mayor economía deben ir encaminados hacia los siguientes resultados:

- a) Elección del voltaje más económico de transmisión.
- b) Elección del sistema más conveniente de soportes.
- c) Elección del espaciamiento más económico de los soportes.
- d) Elección del material más conveniente de los conductores.
- e) Elección de la sección más económica de los conductores.

Sólo el estudio comprendido en la letra e), o sea la determinación de la sección más económica de los conductores admite análisis matemático riguroso. Todos los demás estudios deben hacerse ensayando diversas soluciones hasta encontrar aquella que conduce a una mayor economía.

a) Elección del voltaje más económico de transmisión. Los voltajes comerciales de transmisión son: 2 300, 5 000, 12 000, 22 000, 33 000, 44 000, 66 000, 88 000, 110 000, 150 000 y 220 000 volts. Resulta así que los tanteos con la tensión de transmisión quedan limitados a estos valores, lo que simplifica grandemente el cálculo.

Se han dado también fórmulas empíricas para fijar el voltaje de transmisión en función de la potencia por transmitir y la longitud de la línea. Así, el profesor Alfred Still encontró que la relación

$$K. V. = 5,5 \sqrt{L + \frac{Kw}{100}}$$

concordaba bien con las líneas construídas en E.E U.U. En esta fórmula K. V. es el voltaje en kilovolts, L el largo de la línea en millas y Kw la potencia transmitida en kilowatts. (Electric Power Transmission).

Las líneas de transmisión recientemente construídas en nuestro país se encuadran bastante bien dentro de esta fórmula y creemos que puede ella adoptarse como una primera aproximación sobre el voltaje que se elija en definitiva. Sin embargo, cuando se trata de construir una línea de alguna importancia, es mejor hacer un estudio comparado de diversos voltajes. Para ello se deberá tener presente que con las variaciones de la tensión de transmisión no sólo se altera el costo de los conductores, aisladores y postes, sino también, y en forma muy efectiva, el de los transformadores, interruptores y demás equipo de alta tensión de las estaciones terminales de la línea.

No hay motivo para evadir el empleo de altas tensiones de transmisión (88 000 ó 110 000 volts) pues, contrariamente a lo que a menudo se cree, tales líneas están menos expuestas a los inconvenientes de las sobretensiones, ya que su aislamiento es mejor y las corrientes resultan también menores. Desgraciadamente, las pérdidas de energía en la línea producidas por el *efecto corona* vienen a poner un límite en la elección de voltajes elevados. Estas pérdidas deben ser tomadas en cuenta para voltajes superiores a 66 000 volts.

b) Elección del sistema más conveniente de soportes. Este es uno de los puntos que más exigen un estudio detenido. La elección del sistema de soportes tiene una notable influencia en el costo de construcción de la línea, como también en los gastos de conservación.

Los sistemas más empleados han sido: Torres rígidas de acero, torres flexibles

o semiflexibles de acero, postes de acero, postes de concreto armado, postes de madera.

Cada uno de estos sistemas tiene sus ventajas e inconvenientes y la mejor solución dependerá en gran parte de condiciones locales. Así, por ejemplo, los postes de madera, que se podrían obtener a precios muy bajos en la provincia de Valdivia, resultarán a precios muchísimo más elevados en la pampa salitrera, en tanto que los precios del fierro serán casi constantes en cualquiera región del país.

Debe tenerse presente que la menor duración de la madera comparada con el fierro, no sólo significa un mayor gasto de conservación, sino también entorpecimiento en el funcionamiento de la línea debido a las frecuentes reparaciones y cambios de postes.

De todos los sistemas mencionados el de mayor duración es el de postes de concreto armado, sistema que se empieza hoy día a generalizar en Europa y que, creemos, será de bastante aplicación en Chile en un futuro no lejano.

Cuando se trata de elegir entre postes y torres de acero, es útil tener presente que si las solicitaciones mecánicas que se producen son considerables (Conductores de gran sección, doble línea, cubierta de hielo sobre los conductores, grandes presiones del viento, espaciamientos grandes entre soportes) resulta una economía con el empleo de torres de acero, quedando el empleo de postes reservado al caso de líneas cuyas solicitaciones mecánicas sean menores.

c) Elección del espaciamiento más económico de los soportes. Es preciso en este estudio suponer varios espaciamientos y calcular el costo de la línea y su conservación para cada uno de ellos. Se construirá un gráfico llevando en ordenadas este costo y en abscisas el espaciamiento entre soportes. Se obtiene así un conjunto de puntos que permitirá construir una curva cuyo punto más bajo fijará el espaciamiento más económico.

d) Elección del material más conveniente para los conductores. Si bien es cierto que la gran mayoría de las transmisiones eléctricas que se han construido han empleado el cobre como material conductor, no por eso debe desestimarse la posibilidad del empleo de otro material. Hoy día se hallan en lucha abierta el cobre y el aluminio y sería difícil predecir cuál de los dos materiales se preferirá en el futuro. Posiblemente el precio que alcancen en el mercado mundial decidirá en definitiva.

Por otra parte, cuando se trata de sacar un arranque desde una línea de transmisión a alto voltaje, para transportarla a pequeña distancia y para pequeño consumo, como ocurre a menudo en los campos (Regadío, canteras, etc.) la solución más ventajosa es sin duda el conductor de fierro.

e) Elección de la sección más económica del conductor. Una vez fijado el voltaje de transmisión, se puede fijar la sección más económica del conductor; bastará para ello aplicar la ley de Kelvin ya bastante conocida del lector.

La sección que se obtiene en tal forma satisface la condición de economía, pero no siempre la condición de seguridad. Debido a los esfuerzos de tracción que se producen en el conductor tendido entre poste y poste, sometido a su peso, a la sobrecarga posible de la nieve o el hielo, y al esfuerzo del viento, puede producirse la ruptura. A fin de evitar esto debe aumentarse la sección de los conductores, aunque ya su valor deje de ser el más económico, pues así lo exige la seguridad. Es conveniente en este caso hacer una tentativa de reducción del espaciamiento entre los soportes, pues podría ocurrir que ello condujera a una economía en el costo total de la línea.

Cuando la continuidad del servicio es de gran importancia, como es el caso de una transmisión para alumbrado público o tracción, etc., se disponen dos líneas por trazados diferentes, elevándose así su costo aproximadamente al doble, o bien, se recurre al procedimiento más seguro de todos: la transmisión por cable subterráneo. Sin embargo, esta última solución es de un elevado costo; en general mayor que el de dos líneas aéreas separadas, y la posibilidad de su empleo queda limitada por la tensión de transmisión. Se puede decir que sólo se emplea cable subterráneo para tensiones hasta 44 000 volts entre fases y con el punto neutro conectado a tierra. Se han hecho ensayos hasta 66 000 volts, pero el costo de tales líneas resulta prohibitivo.

A fin de introducir alguna economía se emplea frecuentemente doble circuito en una sola fila de soportes, ya sean éstos torres de transmisión o postes. Con tal solución se duplica el costo de los aisladores y aumenta también el costo de las torres o postes, sin llegar a duplicarse. En cuanto al costo de los conductores pueden presentarse tres casos: 1) La sección más económica, repartida entre las dos líneas, resiste el esfuerzo mecánico máximo que se pueda producir. En tal caso se empleará para cada línea conductores de sección igual a la mitad de la sección más económica. El costo de los conductores es el mismo con doble línea que con simple línea. 2) La sección más económica del conductor no resiste el esfuerzo mecánico máximo cuando está repartida entre dos conductores; pero lo resiste con exceso si se concentra en un conductor. En este caso se deberá emplear en cada línea un conductor cuya sección queda fijada por la sollicitación máxima a que estará sometido. El costo de los conductores aumenta en este caso al duplicar las líneas, pero no llega al doble del costo del circuito simple. 3) La sección más económica del conductor no resiste el esfuerzo mecánico máximo, aun cuando esté concentrada en un solo conductor.

En este caso quedaría fijada por la sollicitación mecánica, y el empleo de doble circuito duplica el costo de los conductores.

Antes de aceptar en definitiva la sección que han de tener los conductores, se debe estudiar la regulación que resulta en la línea. Se puede decir, sin embargo, que rara vez esta condición viene a modificar los valores obtenidos por las condiciones de costo mínimo o mecánicas, por cuanto ellas resultan mucho más exigentes que la de buena regulación para líneas de transmisión de potencia, a la inversa de lo que sucede en las redes de distribución, especialmente para servicio de alumbrado. Se puede advertir también que una mala regulación en la línea es susceptible de ser corregida con el empleo de condensadores sincrónicos o boosters en condiciones económicas satisfactorias.