

Opinión

Sinergia en las ciencias básicas para la solución de problemas de ingeniería

Synergy in the basic sciences for the solution of engineering problems

 Horacio Torres-Sánchez

Universidad Nacional de Colombia; Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Artículo presentado para la celebración del Año internacional de las ciencias básicas para el desarrollo sostenible en Colombia, organizado por la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Academia Joven, con el apoyo de la Asociación Colombiana de Facultades de Ciencias

Resumen

Aparentemente, los fenómenos de golpe de ariete, las sobretensiones electromagnéticas, la teoría de la relatividad general y la solución matemática de una onda viajera son problemas de ingeniería y teorías de las ciencias básicas sin relación entre sí. Sin embargo, un examen histórico muestra la importancia de la acción conjunta en las disciplinas de la Física y la Matemática para dar soluciones en ingeniería, en otras palabras, la sinergia de las ciencias básicas para la solución de problemas de ingeniería.

Palabras clave: Ondas viajeras; Fenómeno electromagnético de sobretensiones; Golpe de ariete; Teoría general de la relatividad.

Abstract

Apparently, water hammer phenomena, electromagnetic surges, the theory of general relativity, and the mathematical solution of a traveling wave are problems of engineering and basic science theories unrelated to each other. However, a historical examination shows the importance of joint action in the physics and mathematics disciplines to offer engineering solutions, in other words, the synergy of basic sciences for the resolution of engineering problems.

Keywords: Traveling waves; Electromagnetic phenomenon of surges; Water hammer; General theory of relativity.

Introducción

Desde que a principios del siglo XX se inició la transmisión de energía eléctrica en corriente alterna mediante las líneas de transmisión, estas han estado sometidas al fenómeno electromagnético de las sobretensiones debidas a las descargas eléctricas atmosféricas o rayos, las maniobras de conexión y desconexión, las fallas en la red o los fenómenos de resonancia, entre muchos otros.

La investigación en ingeniería eléctrica en el mundo se ha volcado en la búsqueda de soluciones al fenómeno electromagnético que afecta negativamente la confiabilidad de los sistemas de energía eléctrica.

El fenómeno electromagnético de las sobretensiones

Los procesos físicos relacionados con la formación de los rayos, propios del campo del electromagnetismo, han sido analizados y medidos por investigadores de todo el mundo, que han desarrollado y perfeccionado diversos modelos para calcular sus parámetros más importantes (Uman, 1987; Uman, 1994; Younes, 2010), con énfasis en la variación

Citación: Torres-Sánchez H. Sinergia en las ciencias básicas para la solución de problemas de ingeniería. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 46(180):646-655, julio-septiembre de 2022. doi: <https://doi.org/10.18257/racefyn.1747>

Editor: Elizabeth Castañeda

Correspondencia:

Horacio Torres-Sánchez;
htorress@unal.edu.co

Recibido: 11 de agosto de 2022

Aceptado: 25 de agosto de 2022

Publicado en línea: 13 de septiembre de 2022



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

espacial y temporal del rayo (Torres, 2002), y han obtenido parámetros probabilísticos para la zona tropical terrestre (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, 2008; Torres, 2014) y para las zonas templadas (International Electrotechnical Commission - IEC, 2006).

En ingeniería eléctrica una sobretensión es una onda de tensión que supera la tensión nominal de una red produciendo un gran aumento del valor eficaz de la tensión en las líneas de transmisión eléctrica durante un período muy corto, lo que por lo general produce fallas en el sistema de aislamiento de la red. En resumen, cuando un rayo impacta una línea de transmisión de energía eléctrica, se genera una onda viajera, cuya solución nos lleva a la teoría física y matemática de ondas.

Antes de presentar los métodos para el cálculo de sobretensiones es necesario tener en cuenta otros aspectos indispensables para la correcta modelación del problema en sí, entre otros, los fundamentos de la teoría de ondas viajeras, los modelos de las líneas de transmisión, los tipos de parámetros que se utilizan, y las condiciones del problema.

En este contexto, los siguientes apartes dan cuenta del desarrollo histórico de las soluciones del fenómeno electromagnético de las sobretensiones.

El golpe de ariete en hidráulica

En la década de 1930 comenzaron a analizarse algunos problemas que se venían presentando en las tuberías hidráulicas, uno de los cuales recibió el nombre de golpe de ariete. El golpe de ariete o pulso de Zhukowski, llamado así en honor al ingeniero ruso Nikolái Zhukovski, es el principal causante de averías en las tuberías e instalaciones hidráulicas.

El golpe de ariete ocurre porque el fluido hidráulico es ligeramente elástico, y por ello, cuando se ve sometido a cambios súbitos –por ejemplo, el cierre de una válvula en el extremo de una tubería–, las partículas que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento. Esto origina una sobrepresión en el fluido que se desplaza por la tubería a una velocidad que puede superar la del sonido. Esta sobrepresión comprime el fluido, reduce su volumen y dilata ligeramente la tubería.

Cuando todo el fluido hidráulico se detiene, cesa el impulso que lo comprimía y tiende a expandirse, en tanto que la tubería, que se había ensanchado ligeramente, tiende a retomar su dimensión normal. Conjuntamente, estos efectos provocan otra onda de presión en el sentido contrario y el fluido, entonces, también se desplaza en dirección contraria, pero, dado que la válvula está cerrada, se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería. Al reducirse la presión, el fluido hidráulico puede pasar a estado gaseoso formando una burbuja al tiempo que la tubería se contrae. Si la onda viajera no se ve disipada, por ejemplo en un depósito a presión atmosférica, ello se evidenciará al alcanzar el otro extremo de la tubería, cuando sea mitigada progresivamente por la propia resistencia del fluido hidráulico a la compresión y la dilatación de la tubería.

Los problemas de propagación de ondas viajeras como el golpe de ariete, se estudiaron en las décadas de 1920 y 1930, mucho antes de que estuvieran disponibles herramientas computacionales adecuadas, utilizando métodos gráficos.

Básicamente se emplearon dos técnicas: el método del diagrama de retícula propuesto por Bewley (1951) y el método de Bergeron (1949). En la técnica del diagrama de retícula se mantiene un registro de las ondas reflejadas y refractadas, y su magnitud se calcula a partir de los coeficientes de reflexión y refracción, respectivamente (Bernal, 1993).

Ondas viajeras

Para realizar adecuadamente el análisis cualitativo de los efectos de las sobretensiones en sistemas eléctricos, es necesario estudiar los fundamentos de la propagación de ondas, los cuales son la base de los métodos más utilizados para el cálculo de sobretensiones.

Se considera un pulso ondulatorio que viaja hacia la derecha con una rapidez constante v sobre una cuerda larga estirada como se ve en la **figura 1**. El pulso se mueve a lo largo del eje x y el desplazamiento transversal de la cuerda se mide sobre la coordenada y . En cualquier instante la forma del pulso se puede representar por $y = f(x)$. Puesto que la rapidez del pulso ondulatorio es v , este recorre hacia la derecha una distancia vt_1 en un tiempo t_1 .

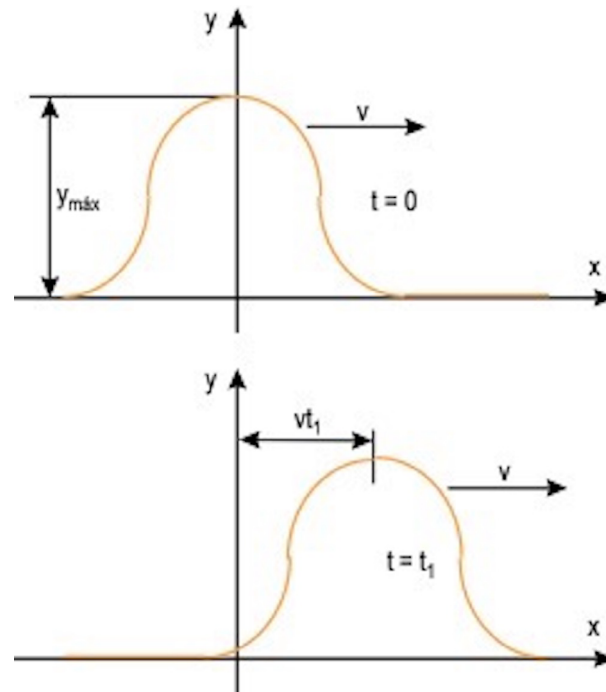


Figura 1. Pulso ondulatorio con rapidez constante v sobre una cuerda larga estirada

Si la forma del pulso ondulatorio no cambia con el tiempo, el desplazamiento se puede representar por medio de un sistema de referencia estacionario con el origen en 0 para todos los tiempos posteriores, es decir:

$$y = f(x \pm vt)$$

Según la dirección, el desplazamiento puede ser positivo (+) o negativo (-).

Para establecer la formulación matemática de las ondas viajeras electromagnéticas se considerará su propagación a través de un medio determinado, tal como una línea de transmisión, o en el caso hidráulico, una tubería.

Considerando una sección infinitesimal Dx del conductor, en paralelo a un plano infinito de referencia o tierra, se pueden definir los siguientes parámetros distribuidos del elemento en cuestión:

- R: resistencia por unidad de longitud del circuito conductor-tierra.
- L: inductancia por unidad de longitud del circuito conductor-tierra.
- G: conductancia por unidad de longitud del conductor a tierra.
- C: capacidad por unidad de longitud del conductor a tierra.

Con dichos parámetros, se puede obtener el circuito equivalente de la **figura 2** para la sección Dx del modelo π de la línea de transmisión (Stevenson, 1962; Torres, 2010):

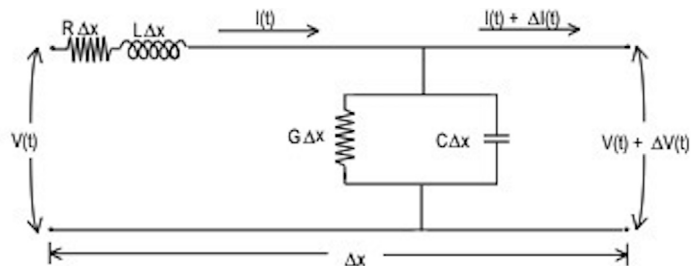


Figura 2. Circuito equivalente para una sección infinitesimal Dx de un conductor paralelo a tierra

El análisis mediante las leyes de Kirchoff permite obtener las ecuaciones de estado:

$$V(t) + \Delta V(t) = V(t) - \left(R_{\Delta x} \cdot I(t) + L_{\Delta x} \frac{\partial I(t)}{\partial t} \right) \quad (1)$$

$$I(t) + \Delta I(t) = I(t) - \left(G_{\Delta x} \cdot (V(t) + \Delta V(t)) + C_{\Delta x} \frac{\partial (V(t) + \Delta V(t))}{\partial t} \right) \quad (2)$$

Al reordenar las ecuaciones (1) y (2) y llevarlas a una variación con el tiempo se tiene:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta V(t)}{\Delta x} = \frac{\partial V(t)}{\partial x} = - \left(R \cdot I(t) + L \frac{\partial I(t)}{\partial t} \right)$$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta I(t)}{\Delta x} = \frac{\partial I(t)}{\partial x} = - \left(G \cdot V(t) + C \frac{\partial V(t)}{\partial t} \right)$$

La solución de estas ecuaciones diferenciales se requiere en el caso particular en el que se desprecian las pérdidas sobre la línea y la distorsión de la onda, es decir, tomando $R = G = 0$:

$$\frac{\partial V(t)}{\partial x} = - \left(L \frac{\partial I(t)}{\partial t} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial I(t)}{\partial x} = - \left(C \frac{\partial V(t)}{\partial t} \right) \quad (4)$$

Por lo tanto:

$$\frac{\partial^2 V(t)}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 I(t)}{\partial t^2} \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 I(t)}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 V(t)}{\partial t^2} \quad (6)$$

y se retoma la ecuación general de onda:

$$\frac{\partial^2 f(t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f(t)}{\partial t^2}, \quad (7)$$

donde v es la velocidad de la onda y f es la amplitud.

La solución a la ecuación de una onda viajera, similar a la ecuación (7), la obtuvo a mediados del siglo XVIII el matemático y filósofo francés Jean Le-Rond D'Alambert, quien planteó la solución general de la ecuación (7) como:

$$y = f(x \pm vt)$$

En consecuencia, para las ecuaciones (5) y (6), se tiene que:

$$\frac{1}{v^2} = LC \therefore v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (8)$$

La solución general de las ecuaciones (5) y (6) es del tipo:

$$V(x,t) = f_{(+)}(x - vt) + f_{(-)}(x + vt) \quad (9)$$

$$I(x,t) = g_{(+)}(x - vt) + g_{(-)}(x + vt) \quad (10)$$

El signo (+) indica desplazamiento en un sentido determinado y el signo (-) en el sentido contrario.

Para el fenómeno electromagnético, la relación punto a punto e instante a instante entre las ondas positivas y negativas de tensión y corriente determina una constante llamada impedancia característica (Z) del medio de propagación.

$$\frac{V_{(+)}}{I_{(+)}} = Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (11)$$

$$\frac{V_{(-)}}{I_{(-)}} = -Z = -\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (12)$$

Y

$$\frac{1}{v} \times Z = \sqrt{LC} \times \sqrt{\frac{L}{C}} = L \quad (13)$$

$$\frac{1}{v} \times \frac{1}{Z} = \sqrt{LC} \times \sqrt{\frac{C}{L}} = C \quad (14)$$

Formulación matemática del método de Bergeron

A partir de las ecuaciones (9) y (10), se planteó el método de Bergeron para ondas viajeras, el cual se presentó como método de solución para los problemas del golpe de ariete en hidráulica causados por choques de presión en tuberías.

Louis Bergeron, ingeniero electricista e hidráulico francés, fue profesor en la Ecole Centrale des Arts et Manufactures, también conocida como ECP, Centrale o Centrale Paris.

Bergeron presentó la solución de estas ecuaciones para problemas de hidráulica causados por choques de presión en tuberías en sus publicaciones de 1928 y 1929.

Al reemplazar la ecuación (13) en la (3) y la (14) en la (4), se obtiene:

$$-\frac{\partial V(t)}{\partial x} = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial (I(t) \cdot Z)}{\partial t} \quad (15)$$

y

$$-\frac{\partial (I(t) \cdot Z)}{\partial x} = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial V(t)}{\partial t} \quad (16)$$

Al combinar mediante adición y sustracción las ecuaciones (15) y (16), se deduce:

$$\frac{\partial (V(t) \pm I(t) \cdot Z)}{\partial x} = \frac{1}{v} \frac{\partial (V(t) \pm I(t) \cdot Z)}{\partial t},$$

cuya solución, como se dijo anteriormente, es la ecuación de una recta, de la forma:

$$V(t) \pm I(t) \cdot Z = f_{\pm}(x \mp vt) = K_{\pm}, \quad (17)$$

siendo K_{\pm} una constante.

El profesor Bergeron estudió solamente la solución de problemas hidráulicos. Sin embargo, pronto reconoció su utilización universal para la investigación de fenómenos de dispersión electromagnética en conductores. Su trabajo sobre la propagación de ondas a lo largo de líneas y el método gráfico fue presentado en una reunión general de la Société Française des Electriciens y la Société des Ingenieurs Civils de France, el 23 de abril de 1937, pero solo en 1950 apareció una descripción general del método de Bergeron en forma de libro, bajo el título *Du coup de bélier en hydraulique au coup de foudre en électricité* (Del golpe de ariete en hidráulica al golpe de un rayo en electricidad) (Bergeron, 1949).

La interpretación del anterior planteamiento se hace en términos de un marco de referencia de un observador ficticio que se desplaza junto con la onda. Un análisis de este concepto en la época en que Albert Einstein presentó su teoría de la relatividad hace pensar que influyó en el método de Bergeron. Como la velocidad v de la onda permanece constante, también lo hará la expresión $(x - vt)$. La variación constante de posición está dada por la distancia desde el punto inicial A al punto final B del medio de propagación. El tiempo que tarda en recorrer dicha distancia es t , que define la variación constante en el tiempo. Entonces, la ecuación (17) significa que el cambio de estado de la onda en posición y tiempo se puede representar en un diagrama $V(t)$ contra $I(t)$ como una línea recta de pendiente $-Z$. Para el caso en que el desplazamiento sea de B hacia A, la pendiente de la recta es Z . La **figura 3** muestra las rectas descritas, conocidas como líneas rectas de Bergeron.

Como en el método de Bergeron el observador se desplaza a la misma velocidad que la onda, la variable tiempo está implícita, es decir, aparece en el diagrama $V(t)$ contra $I(t)$ como un parámetro que se define por sí solo. Para un medio de propagación como el de la **figura 4a**, por ejemplo, una línea de transmisión o una subestación, en el que incide una función de paso de amplitud V_p , la construcción de la gráfica resultante (**Figura 4b**) comienza con el trazado de las líneas rectas de tensión-corriente de los circuitos equivalentes (Langlois, 1995) a la entrada y a la salida del medio, en este caso es la línea recta que parte de $(V_p, 0)$ con pendiente R_e y la que parte del origen con pendiente R_C .

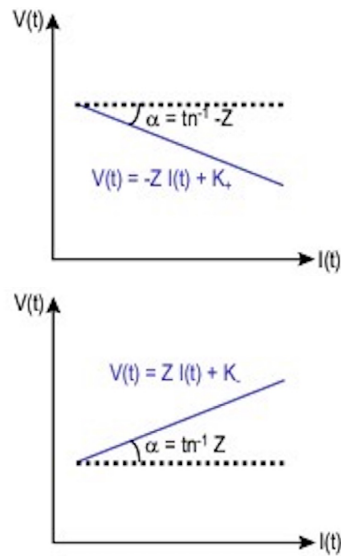


Figura 3. Líneas rectas de Bergeron

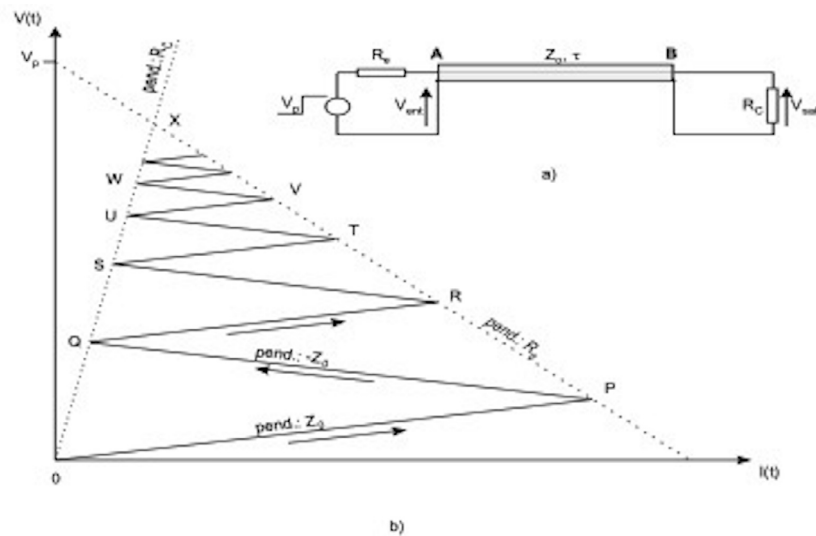


Figura 4. Construcción gráfica de las líneas rectas de Bergeron. **a)** Circuito equivalente general. **b)** Gráfica resultante

Como se observa, el instante de tiempo correspondiente al origen de la gráfica es $-t$, es decir, el análisis comienza cuando el observador ficticio parte con la onda desde el punto B. En la **figura 5** se muestran las ondas de tensión resultantes en función del tiempo en el punto de entrada A y en el de salida B.

Aplicación digital del método de Bergeron (Torres, 2010)

La relativa sencillez del método de Bergeron para el cálculo de sobretensiones electromagnéticas y el auge de la informática incentivaron la utilización de herramientas computacionales que facilitaron el trabajo y brindaron exactitud en los resultados.

Con base en el método de Bergeron, el profesor Dommel de la Universidad Técnica de Munich, Alemania, propuso en la década de 1960 un programa digital que denominó el programa de transitorios electromagnéticos (*Electromagnetic Transients Program*,

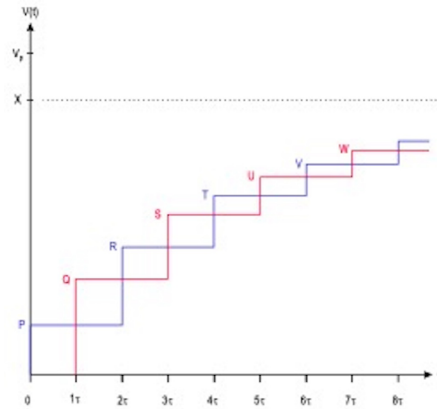


Figura 5. Ondas de tensión resultantes en función del tiempo en los puntos A y B

EMTP); posteriormente, el investigador y colega de Dommel Scott Meyer, de la Universidad de Lovaina en Bélgica, propuso un programa alternativo para los nacientes computadores personales que denominó programa de transitorios alternativo (*Alternative Transients Program, ATP*), que hoy es de acceso libre y se utiliza ampliamente en investigaciones y en diseños de ingeniería eléctrica en la mayoría de los países del mundo. Con el transcurso del tiempo los investigadores han introducido diferentes subrutinas y mejoras en este programa.

La formulación matemática para la determinación del circuito equivalente de una línea de transmisión eléctrica utilizando los postulados del método de Bergeron es la siguiente.

Se considera inicialmente la ecuación (17).

Además, se tiene en cuenta el tiempo τ que tarda un observador ficticio en viajar a lo largo de una línea de transmisión a velocidad v desde el punto m hasta el punto k , tal como se observa en la **figura 6a**. Dicha expresión, encontrada por el observador cuando sale del nodo m en el tiempo $(t - \tau)$, tiene que ser la misma que cuando arriba al nodo k en el tiempo t .

Para esto se toma la primera parte de la ecuación (17):

$$v_m(t - \tau) + i_{m,k}(t - \tau) \cdot Z = v_k(t) + Z(-i_{k,m}(t)) \quad (18)$$

Al reordenarla, se obtiene:

$$i_{k,m}(t) = \frac{1}{Z} v_k(t) - \frac{1}{Z} v_m(t - \tau) - i_{m,k}(t - \tau) \quad (19)$$

Análogamente, se puede determinar la ecuación de la corriente que fluye desde el nodo m hasta el nodo k en una línea de transmisión:

$$i_{m,k}(t) = \frac{1}{Z} v_m(t) + I_m(t - \tau) \quad (20)$$

Las expresiones $I_m(t - \tau)$ e $I_k(t - \tau)$ se interpretan como fuentes equivalentes de corriente, las cuales se conocen en el estado de tiempo t de la historia pasada $(t - \tau)$, y así se puede obtener el circuito equivalente de impedancia (**Figura 6b**), el cual describe totalmente la línea de transmisión eléctrica.

El comportamiento de los elementos que almacenan energía, como la inductancia y la capacidad, obedece al siguiente tipo de ecuación:

$$f(t) = A \frac{dF(t)}{dt} \quad (21) \quad \circ$$

$$F(t) = \frac{1}{A} \int_{t-\Delta}^t f(t) \cdot dt \quad (22)$$

Como para cada intervalo de tiempo es necesario calcular una integral, cuyo grado de dificultad varía dependiendo de la función, una buena aproximación es resolver la ecuación por medio del método del área trapezoidal (Thomas, 1987), de manera que la ecuación (22) queda así:

$$F(t) = \frac{\Delta}{2A} \cdot (f(t - \Delta) + f(t)) \quad (23).$$

Los circuitos equivalentes para la inductancia, capacidad y resistencia se presentan en la figura 7.

Las ecuaciones nodales se pueden establecer después de haber reemplazado los circuitos originales de la red por los circuitos equivalentes, así el resultado es un sistema de ecuaciones que matricialmente tiene la forma:

$$[Y] \cdot [v(t)] = [i(t)] - [I] \quad (24),$$

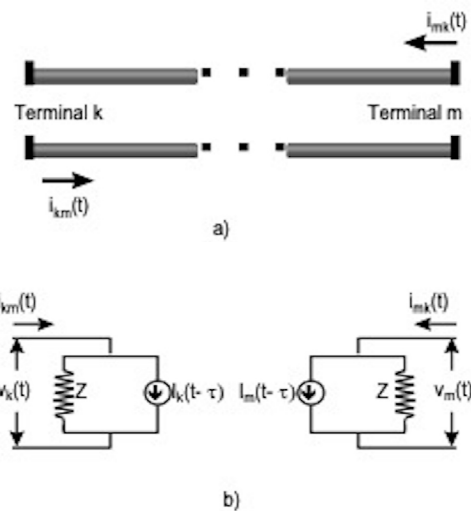


Figura 6. a) Línea de transmisión. b) Circuito equivalente de Dommel

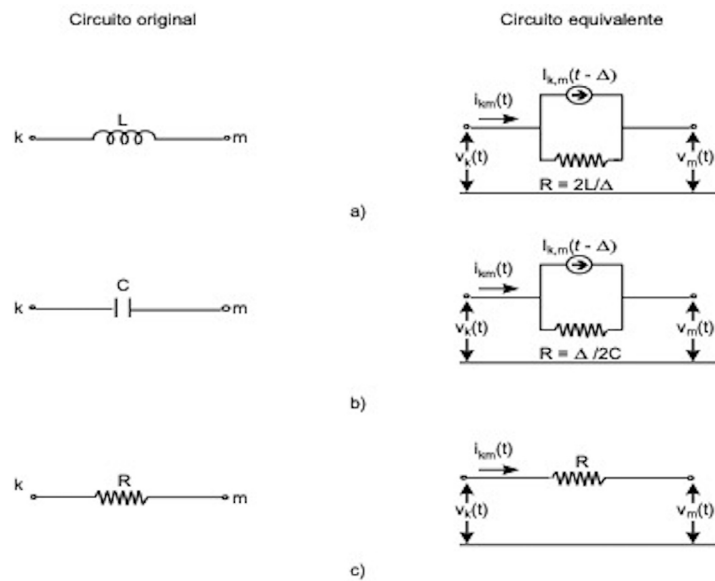


Figura 7. Circuitos equivalentes de Dommel para: a) la inductancia, b) la capacidad y c) la resistencia

donde $[Y]$ es la matriz de admitancia construida a partir de los circuitos equivalentes, $[V(t)]$ representa el vector columna de tensiones nodales en el tiempo t , $[i(t)]$ es el vector columna de corrientes nodales inyectadas en la red, e $[I]$ es el vector columna de corrientes I construido a partir de las fuentes equivalentes.

Ejemplo de aplicación

La **figura 8** muestra algunos elementos en una subestación eléctrica. En el nodo 1 se presenta una sobrecorriente, en el nodo 5 hay un transformador y en el nodo 4 se instala un descargador de sobretensión (DST). La figura muestra, asimismo, las características de la sobrecorriente y del DST. El método de Dommel permite determinar la tensión que se presentaría en cualquier nodo del sistema.

A manera de conclusión, se presenta una síntesis de los resultados obtenidos para las primeras 15 iteraciones, es decir para los primeros 1.5 [ms]. Es importante observar los instantes de tiempo en los que se presenta tensión en cada nodo (**Figura 9**).

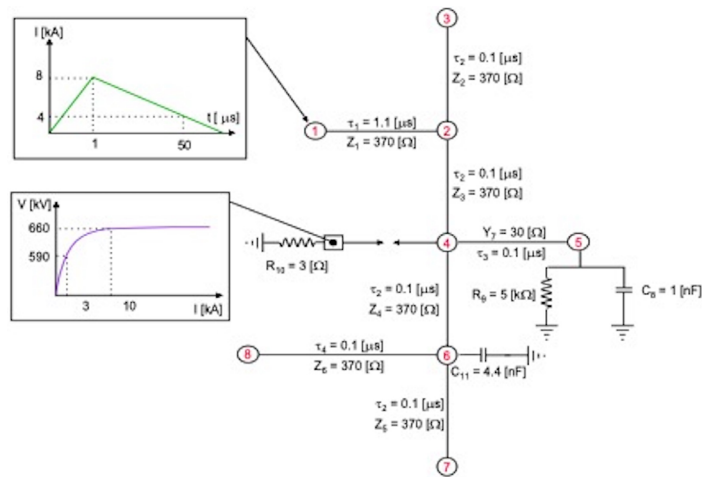


Figura 8. Diferentes elementos en una subestación sometida a un fenómeno transitorio electromagnético

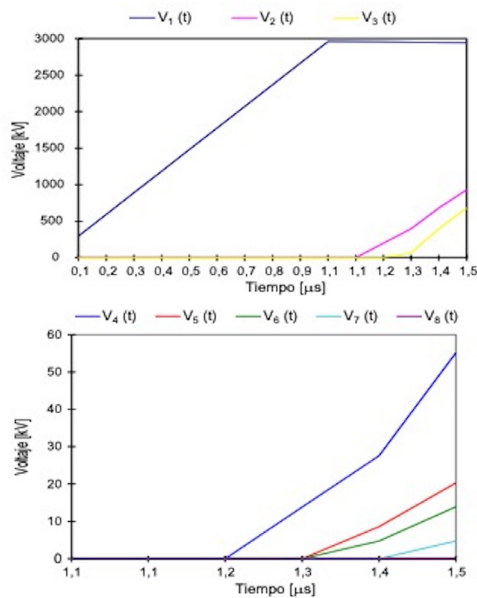


Figura 9. Ejemplo de aplicación del método de Dommel (tensiones nodales hasta la iteración 15)

Conclusiones

En este artículo se analizan fenómenos de ingeniería como el golpe de ariete, así como transitorios electromagnéticos que, con la ayuda de la teoría de la relatividad y la solución matemática de una onda viajera propuesta en el siglo XVIII, demuestran cómo una acción conjunta permite una solución a problemas propios de la ingeniería, en otras palabras, la sinergia en las ciencias básicas logra la solución de problemas de ingeniería.

Conflicto de intereses

Como autor del presente artículo declaro no tener ningún conflicto de intereses real, potencial o aparente, ni relación económica, personal o política que pueda influir en mi juicio.

Referencias

- Bergeron, L.J.B.** (1949). *Du Coup de Bélier en Hydraulique au Coup du Foudre en Électricité*. Paris, Dunod. p. 250-258.
- Bernal, M. del C., Camargo, G.E.** (1993). Software para el estudio de transitorios usando ondas viajeras. Trabajo de Grado. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Bewley, L.V.** (1991). *Traveling waves on transmission systems*. Wiley. New York. p. 321-359.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC.** (2008). Protección contra descargas eléctricas atmosféricas, Norma Técnica Colombiana NTC4552-1,2,3. Bogotá, Colombia.
- International Electrotechnical Commission.** (2006). Standard protection against lightning. IEC 62305-1,2,3. <https://www.iec.ch/about-us>.
- Langlois, P.J.** (1995). Graphical analysis of delay line waveforms: A tutorial. *IEEE. Transactions on Education*, 38 (1), 27-32.
- Stevenson, W.D.** (1962). *Elements of Power System Analysis*. 2nd Edition. New York. MacGraw-Hill. p. 9339212142
- Thomas, G., Finney, R.** (1987). *Cálculo con geometría analítica*. Volumen I. Addison-Wesley Iberoamericana. México D. F. p. 155.
- Torres, H.** (2014). Lightning parameters in tropical region for engineering applications. *Proceeding International Conference on Grounding and Earthing & 6th International Conference on Lightning Physics and Effects*, Manaus, Brazil.
- Torres, H.** (2010). *Aislamientos eléctricos*. Ed. Universidad Nacional-DIB, Bogotá, Colombia. p. 155.
- Torres, H.** (2002). *El rayo, mito, ciencia y tecnología*. Unibiblos, Bogotá. 153-166.
- Uman, M.A.** (1987). *Lightning Discharge*. Academic Press. San Diego, CA, 221-236.
- Uman, M.A.** (1994). Natural Lightning. *IEEE. Transactions on Industry Applications*, 30 (3), 785-790. doi: 10.1109/28.293729.
- Younes C., Torres, H.** (2010). Caracterización de los parámetros del rayo en Colombia, Editorial UN, Manizales, Colombia. p. 93-102.