

Laboratorio Virtual como Herramienta para Comprender el Funcionamiento de las Líneas de Alta Tensión

Virtual laboratory as a Tool for Understanding the Operation of High Voltage Lines

Carlos Roldán-Blay, Modesto Pérez-Sánchez
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
carrolbl@die.upv.es, mopesan1@upv.es

Abstract

Las líneas eléctricas trifásicas de alta tensión son elementos de difícil modelado debido a una serie de fenómenos que a otros niveles de tensión pueden resultar despreciables. Para el cálculo de los parámetros básicos (resistencia, inductancia y capacidad) con los que crear modelos sencillos (ya sea de parámetros concentrados o distribuidos) válidos para simular el funcionamiento de las líneas, se desarrollan expresiones de una complejidad que dificulta su asimilación. Para facilitar el alineamiento enseñanza-aprendizaje del alumno, se ha desarrollado una colección de laboratorios virtuales con Matlab[®] para facilitar la comprensión del funcionamiento de las líneas de alta tensión. En este artículo se muestra uno de estos laboratorios que permite representar la geometría de líneas aéreas de alta tensión y computar el cálculo de sus parámetros.

Three-phase electrical power lines are difficult to model elements due to a number of phenomena that in other voltage levels may be negligible. To calculate basic parameters (resistance, inductance and capacitance) which result in simple validated models (either of concentrated or distributed parameters) to simulate the operation of lines, some expressions have been developed with a complexity that hinders their assimilation. To facilitate the alignment between teaching and learning, a set of virtual laboratories using Matlab[®] has been developed to facilitate the understanding of the operation of high voltage lines. In this paper, one of these laboratories that allows the representation of the geometry of high voltage overhead lines and the calculation of their parameters is shown.

Palabras clave: Laboratorio virtual, Matlab[®], línea de alta tensión, parámetros eléctricos, inductancia, resistencia, capacidad, efecto pelicular, transmisión de potencia eléctrica.

Keywords: Virtual laboratory, Matlab[®], high voltage line, electrical parameters, inductance, resistance, capacitance, skin effect, electrical power transmission.

1. Introducción y objetivos

El desarrollo de los modelos computacionales junto con el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) están desempeñando un papel fundamental en la integración de la enseñanza y el aprendizaje (Ferro Soto et al., 2009; Gimenez-Palomares and Monsoriu, 2016). Por tanto, un uso adecuado de las mismas puede conducir a facilitar la consecución de los resultados de aprendizaje en las actividades propuestas a la hora de trabajar las diferentes competencias genéricas y específicas de cada titulación (Alvarez et al., 2007), así como las competencias transversales introducidas por el proyecto estratégico UPV2015-2020 (UPV, 2015a). Por tanto, haciendo uso de las TICs que pone a disposición la UPV al servicio de la Comunidad Universitaria, centralizadas en Poliformat (que es una herramienta de “campus virtual” basada en el proyecto “Sakai”) y de la plataforma Riunet, el docente debe explotar en la medida que le sea posible la interacción virtual con sus alumnos, dotándoles de objetos de aprendizaje que les permitan desarrollar los objetivos de aprendizaje propuestos en cada una de las Unidades Didácticas que componen la asignatura impartida, potenciando el aprendizaje autónomo del alumno (Marzano, 1991). Una de las herramientas puestas a disposición del profesor en el Plan de Docencia en Red (UPV, 2015b) son los laboratorios virtuales. Estos objetos de aprendizaje permiten al usuario hacer simulaciones numéricas y visuales en tiempo real en función de los parámetros de entrada variados por él mismo en Matlab[®], Mathematica o similar, permitiendo al alumno adoptar una actitud activa en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Depcik and Assanis, 2005). En la actualidad, desde la plataforma Riunet de la UPV se tiene acceso a 1167 laboratorios virtuales englobados en 11 Escuelas diferentes, tal y como se recoge en la tabla 1.

Escuela	Nº Laboratorios Virtuales
Facultad de Administración y Dirección de Empresas:	2
Escuela Politécnica Superior de Alcoi	147
Escuela Politécnica Superior de Gandía	77
Escuela Técnica Superior de Arquitectura:	6
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural	7
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos	114
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	89
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación	4
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales	359
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática	17
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación	345

Tabla 1: Número de laboratorios virtuales del Plan de Docencia en Red actuales por escuelas.

En este trabajo se muestra un laboratorio virtual realizado con Matlab[®] (MATHWORKS, 2015) cuyo uso puede facilitar la comprensión de cómo afecta cada característica a los parámetros de las líneas aéreas de alta tensión. Estas líneas forman la red de transporte y distribución de energía eléctrica en los sistemas de potencia. Su importancia es crucial para la vida actual, pues permiten transportar grandes potencias a lo largo de grandes distancias, desde los núcleos de generación de energía (centrales) hasta los núcleos de consumo (poblaciones).

El uso de este laboratorio en asignaturas donde se describan las líneas eléctricas y sus parámetros o se utilicen modelos de líneas (asignaturas como Generación, transporte y distribución de energía eléctrica; Sistemas eléctricos de potencia; Líneas y redes de alta tensión; Subestaciones eléctricas, coordinación de aislamiento y protecciones; entre otras) permitirá a los estudiantes visualizar de manera interactiva los parámetros y la configuración de líneas aéreas simples, entendiendo fácilmente cómo afecta cada entrada a los parámetros de la línea.

El laboratorio, accesible públicamente desde internet, tiene como objetivo que los alumnos puedan estudiar cómo varían los parámetros eléctricos de las líneas en alta tensión ante variaciones en la geometría, el material, la frecuencia y la sección del conductor. El uso del mismo está centrado en la asignatura Líneas y redes de alta tensión, del Máster de Ingeniería Industrial especialidad Eléctrica. Con este laboratorio, junto con otros similares desarrollados dentro de la misma temática formando una colección, se pretende dotar al alumno de herramientas que le permitan trabajar los contenidos desarrollados en el aula (cálculo de parámetros de líneas eléctricas, desarrollo de modelos de líneas, análisis de la transmisión de potencia, cálculo de solicitaciones mecánicas en apoyos de líneas) y lograr alcanzar los objetivos de aprendizaje, siendo estos:

- Analizar, diseñar y proyectar líneas de alta tensión y sistemas eléctricos de potencia.
- Analizar y diseñar sistemas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica.

Las principales mejoras que introducen este tipo de laboratorios dentro del desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje, son:

- Sencillez y rapidez de uso: permiten resolver de forma rápida ejercicios cuya realización manual conlleva mucho tiempo.
- Respuesta gráfica: los parámetros de la línea aparecen junto a la representación gráfica de la misma, lo que permite asociar las salidas del laboratorio a la geometría de la línea de forma intuitiva y visual.
- Comparación de casos: se pueden realizar análisis de sensibilidad en función del parámetro, en múltiples ejecuciones del laboratorio en paralelo, permitiendo al alumno analizar y observar la evolución de los parámetros eléctricos de las líneas de transporte.
- Rangos típicos: los parámetros obtenidos con configuraciones realistas ofrecen resultados dentro de los rangos típicos, lo que facilita la memorización de los órdenes de magnitud de estos parámetros.
- Autonomía: los laboratorios son sencillos y accesibles desde internet, por lo que el alumno puede trabajar de manera autónoma estudiando características de las líneas y de su funcionamiento.

Dentro de la asignatura Líneas y redes de alta tensión, se está desarrollando una colección de 12 laboratorios virtuales que sirvan para aplicar los contenidos desarrollados en las clases de teoría y ayudar a alcanzar los resultados de aprendizaje establecidos (Carlos Roldán-Blay, 2016a; Carlos Roldán-Blay, 2016b; Carlos Roldán-Blay, 2016c). Los parámetros unitarios (por km de longitud) generados por el laboratorio descrito en este trabajo se utilizan luego (por ejemplo con otros de los laboratorios desarrollados) para crear modelos de las líneas y estudiar su comportamiento (pérdidas, caídas de tensión, desfases, etc.). Estos modelos pueden ser de parámetros concentrados o de parámetros distribuidos. Los primeros no tienen en cuenta los retrasos que las ondas de tensión y corriente tienen a lo largo de la longitud de las líneas, mientras que los de parámetros distribuidos sí los consideran. Para ondas a 50 Hz, la longitud de onda corresponde a unos 6000 km, por lo que solo para líneas muy largas es necesario el uso de estos modelos con parámetros distribuidos (líneas de miles de km).

2. Fundamentos Teóricos aplicados a las Líneas de Alta Tensión

2.1. Resistencia efectiva

Cuando un material conductor es sometido a una tensión constante (U), se produce un paso de corriente continua (I) a través del mismo según la ecuación 1, conocida como ley de Ohm:

$$U = R \cdot I, \quad (1)$$

donde R es la resistencia que el material presenta en las condiciones en que se encuentra mientras pasa la corriente. En general, R depende de las características del objeto (material y dimensiones), aunque otros factores pueden influir, como por ejemplo la temperatura. Para una temperatura determinada, el material presenta una resistividad (ρ) propia del material. Conocida la resistividad, longitud (l) y sección del conductor (S), la resistencia se puede determinar según la expresión:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}. \quad (2)$$

Esta es la resistencia que presenta un conductor en corriente continua. Sin embargo, en corriente alterna, es necesario tener en cuenta el efecto pelicular. Este fenómeno, provoca que la corriente no se distribuya uniformemente por la sección del conductor. Si tomamos un conductor macizo (figura 1), la integral del campo eléctrico a lo largo del contorno definido por los puntos P-Q-R-S, viene definida por la ecuación:

$$\int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l} + \underbrace{\int_Q^R \vec{E} \cdot d\vec{l}}_{=0} + \int_R^S \vec{E} \cdot d\vec{l} + \underbrace{\int_S^P \vec{E} \cdot d\vec{l}}_{=0} = -\frac{d\Phi}{dx}, \quad (3)$$

siendo Φ el flujo creado por la corriente $i(t)$.

La ecuación 3, teniendo en cuenta las integrales no nulas, se reduce a la ecuación siguiente en función de la resistividad y la densidad de corriente (σ) en la posición de cada segmento:

$$\rho \cdot \sigma(x_1) + \rho \cdot \sigma(x_2) = -\frac{d\Phi}{dx}. \quad (4)$$

De la ecuación 4, se deduce que la densidad de corriente es mayor en la cercanía de la superficie exterior que en el centro del conductor. Además, cuando las corrientes son senoidales, la corriente del interior se retrasa respecto a la del exterior. Este fenómeno es el denominado efecto pelicular. Dicho efecto provoca un aumento de la resistencia efectiva del material y de las pérdidas en los conductores, al tener una sección efectiva menor. Para corregir el valor de resistencia en corriente continua y calcular la resistencia efectiva de conductores circulares cableados con corriente senoidal, se pueden utilizar las siguientes expresiones de la norma UNE 21144 para $x_s \leq 2.8$:

$$R_{ef} = R(1 + y_s) \quad (5)$$

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0.8 \cdot x_s^4} \quad (6)$$

$$x_s^2 = \frac{10^{-7} \cdot f \cdot 8\pi}{R} \quad (7)$$

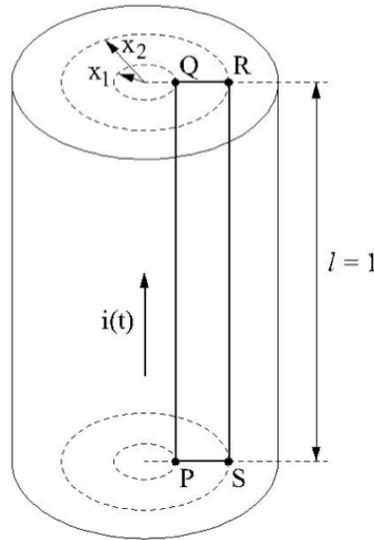


Figura 1: Conductor macizo recorrido por una corriente $i(t)$.

donde R_{ef} es la resistencia por fase efectiva de la línea en Ω/m , f es la frecuencia, x_s es un factor introducido por la citada norma y el factor $(1 + y_s)$ es la corrección en tanto por uno a aplicar a la resistencia de corriente continua (R) al considerar el efecto pelicular.

2.2. Inductancia aparente

Utilizando los conceptos de radio medio geométrico (g) de una sección (en el caso particular de un conductor macizo de radio r , g es igual a $r/\sqrt[4]{e}$) y de distancia media geométrica (D_g) entre conductores, ambos introducidos por Maxwell en el cálculo de las inductancias, se pueden calcular las caídas de tensión por efecto inductivo en cada una de las fases (a , b y c) de una línea trifásica –ecuación 8–:

$$\begin{pmatrix} \Delta v_a \\ \Delta v_b \\ \Delta v_c \end{pmatrix} = \frac{\mu_0}{2\pi} \begin{pmatrix} \log(1/g) & \log(1/d_{ab}) & \log(1/d_{ca}) \\ \log(1/d_{ab}) & \log(1/g) & \log(1/d_{cb}) \\ \log(1/d_{ca}) & \log(1/d_{bc}) & \log(1/g) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{di_b}{dt} \\ \frac{di_c}{dt} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

donde $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H/m es la permeabilidad magnética del vacío, suponiendo que los conductores no son ferromagnéticos y d_{ij} es la distancia entre la fase i y la fase j en metros.

En el cálculo de líneas de alta tensión, se supone que en la instalación se va a efectuar la trasposición de fases cada tercio de longitud. Por tanto, bajo esta hipótesis, las tres fases tienen la misma caída de tensión total, definida por la ecuación 9:

$$\Delta v_i = \frac{\mu_0}{2\pi} \log \left(\frac{D_g}{g} \right) \frac{di_i}{dt}, \quad (9)$$

siendo

$$D_g = \sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ca}}. \quad (10)$$

Así, se puede definir el concepto de inductancia aparente (L'_{ap}) por fase de la línea con trasposición, mediante la ecuación 11:

$$L'_{ap} = \frac{\mu_0}{2\pi} \log \left(\frac{D_g}{g} \right). \quad (11)$$

2.3. Capacidad aparente

Suponiendo una línea aérea trifásica con los tres conductores de radio r dispuestos formando un triángulo equilátero de lado D y tomando como punto neutro el baricentro de dicho triángulo, a una distancia d de cada vértice, la tensión fase-neutro de cada fase, viene definida por la ecuación 12:

$$\begin{pmatrix} \Delta v_a \\ \Delta v_b \\ \Delta v_c \end{pmatrix} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{pmatrix} \log(d/r) & \log(d/D) & \log(d/D) \\ \log(d/D) & \log(d/r) & \log(d/D) \\ \log(d/D) & \log(d/D) & \log(d/r) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} q_a \\ q_b \\ q_c \end{pmatrix}, \quad (12)$$

donde $\epsilon_0 = (36\pi 10^9)^{-1}$ F/m es la permitividad dieléctrica del vacío y q_i es la carga en la fase i .

Para líneas con trasposición de fases, se realiza una suposición aproximada de que la carga q_i es la misma en cada uno de los tres tramos de la línea para todas las fases. Esta aproximación permite definir la capacidad aparente o capacidad media de cada fase, mediante la ecuación 13:

$$C_{ap} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log(D_g/r)}. \quad (13)$$

Nótese que el radio del conductor no es el radio medio geométrico (g) utilizado en la ecuación 11, de la inductancia aparente, porque para el cálculo de la capacidad se supone toda la carga concentrada en la superficie del conductor.

2.4. Modelos eléctricos de líneas

Una vez obtenidos los parámetros eléctricos de la línea (R_{ef} , L'_{ap} y C_{ap}) se puede crear un modelo, que extrapole los valores unitarios por unidad de longitud, obtenidos con las ecuaciones presentadas, en valores totales concentrados o distribuidos para analizar el funcionamiento de la línea. Estos modelos permiten evaluar las pérdidas y las caídas de tensión, así como computar los fasores de tensión y corriente al inicio y al final de la línea.

3. El laboratorio virtual

El laboratorio virtual ‘paramlat.m’ es una simulación interactiva en Matlab[®] de los parámetros unitarios de líneas aéreas simples de alta tensión. El laboratorio virtual calcula los parámetros unitarios (por km de longitud) de una línea trifásica simple de alta tensión y representa la geometría de la misma. Para el cálculo de los parámetros, el laboratorio utiliza las ecuaciones 5, 11 y 13. Este laboratorio ha sido diseñado para permitir al usuario alcanzar diferentes resultados de aprendizaje:

- Analizar la influencia de la geometría en los parámetros unitarios de las líneas de alta tensión.
- Comparar los dos materiales más usuales (cobre y aluminio) y los dos niveles de frecuencia (50 Hz y 60 Hz) estándar para una configuración concreta.
- Sintetizar configuraciones realistas y coherentes que proporcionen los valores típicos de los parámetros obtenidos mediante el laboratorio virtual.

Mediante su uso se puede analizar cómo afecta cada entrada a los tres parámetros definidos que darán lugar a un modelo de la línea.

Para utilizar el laboratorio, el usuario puede elegir una configuración de catálogo comercial o utilizar la configuración por defecto del laboratorio. Configurada la geometría se pueden modificar características de la línea (material, frecuencia, distancia entre fases) y analizar cómo se ven afectadas las salidas. En definitiva, para utilizar el laboratorio se deben seleccionar los siguientes parámetros (el apoyo de la línea se supone situado en la coordenada $(x_0, y_0) = (0, 0)$):

- x_1 (m): Coordenada x de la primera fase. El valor por defecto es -4 m.
- y_1 (m): Coordenada y de la primera fase. El valor por defecto es 12 m.
- x_2 (m): Coordenada x de la segunda fase. El valor por defecto es 0 m.
- y_2 (m): Coordenada y de la segunda fase. El valor por defecto es 14 m.
- x_3 (m): Coordenada x de la tercera fase. El valor por defecto es 4 m.
- y_3 (m): Coordenada y de la tercera fase. El valor por defecto es 12 m.
- Radio (mm): Radio del conductor. El valor por defecto es 11 mm
- Material: Cu o Al. El valor por defecto es Al.
- Frecuencia (Hz): 50 Hz o 60 Hz. El valor por defecto es 50 Hz.

Tras seleccionar las características, clicando en el botón Dibujar, se representa la línea con sus tres fases situadas sobre el apoyo y sus parámetros calculados (por km de longitud). En las líneas eléctricas aéreas se suelen considerar los parámetros siguientes como valores típicos:

- R_{ef} : de 0.02 a 1 Ohm/km. • L'_{ap} : de 0.5 a 2 mH/km. • C_{ap} : de 6 a 25 nF/km.

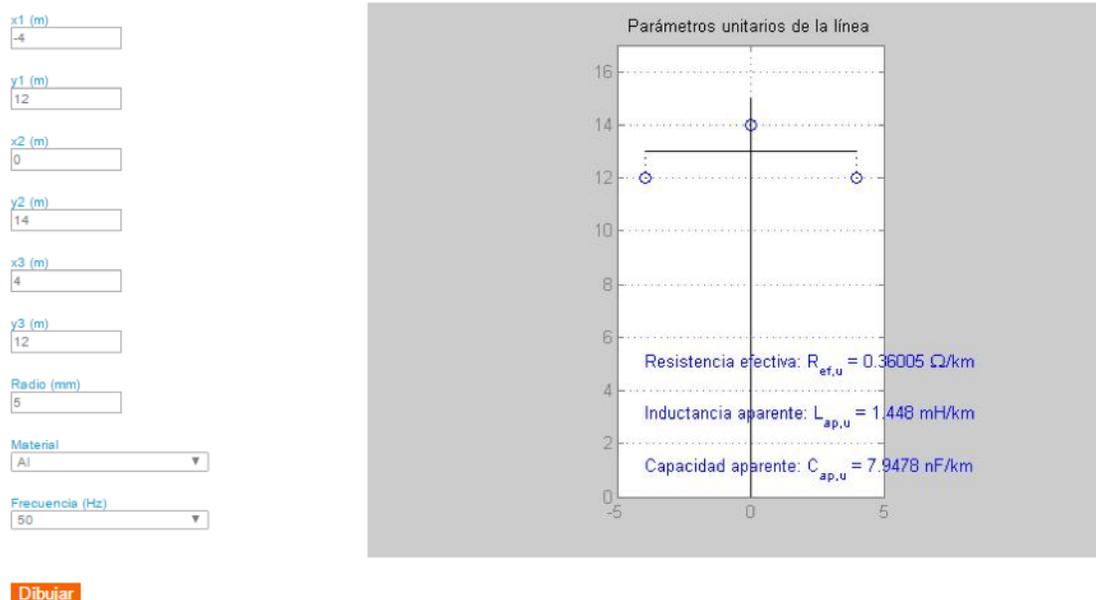


Figura 2: Parámetros de la línea por defecto con un radio de 5 mm.

3.1. Ejemplos de análisis utilizando el laboratorio

Entre las múltiples experiencias que el estudiante puede realizar con este laboratorio, una de las más sencillas es analizar cómo afecta el radio del conductor a los parámetros de las líneas. Introduciendo, por ejemplo, la configuración por defecto y variando el radio desde 5 mm hasta 16 mm, puede observarse cómo la resistencia baja rápidamente (un 89.62%), la inductancia desciende un poco (un 16.06%) y la capacidad aumenta un poco (un 19.96%). Estas variaciones pueden observarse al comparar la figura 2 y la figura 3.

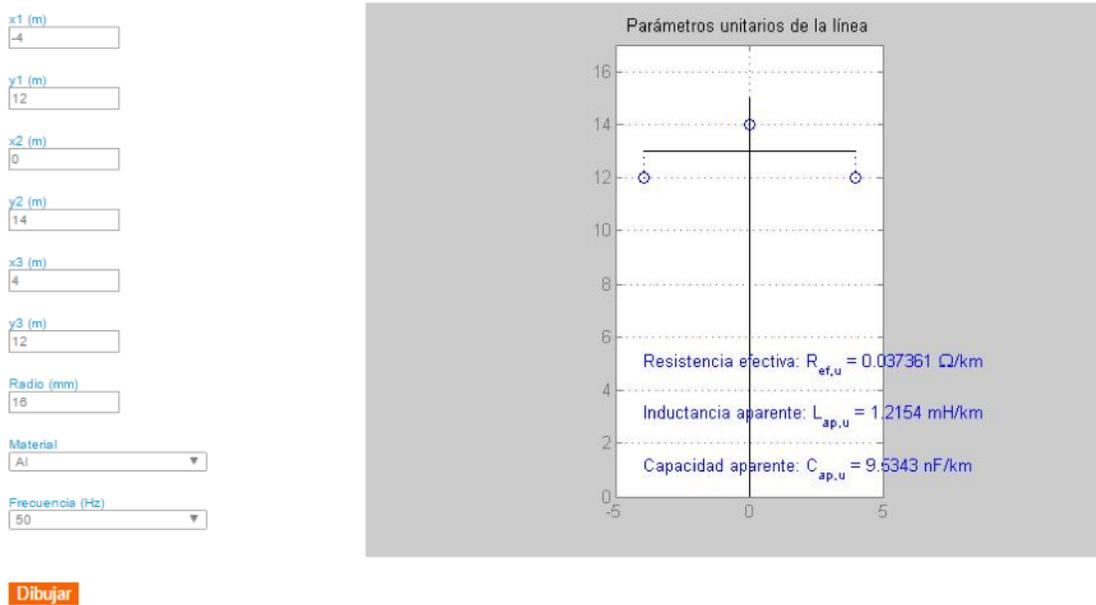


Figura 3: Parámetros de la línea por defecto con un radio de 16 mm.

Sin embargo, con un cálculo sencillo, utilizando las ecuaciones 2, 6 y 7, y tomando una temperatura de 20°C (en esta temperatura la resistividad para el aluminio es de 0.02826 $\Omega \text{ mm}^2/m$), se puede comprobar que el factor $(1 + y_s)$ toma los valores mostrados en la tabla 2.

Radio del conductor(mm)	Factor $(1 + y_s)$
5	1.0006349
16	1.0632420

Tabla 2: Factor $(1 + y_s)$ con diferentes radios para los conductores de la línea.

Este sencillo análisis pone de manifiesto la importancia del efecto pelicular para conductores de gran sección, ya que la corriente se distribuye de manera muy desigual a lo largo de la misma y la resistencia de los conductores cambia considerablemente con respecto al caso de la corriente continua, con el aumento inherente de las pérdidas de potencia. Por otro lado, es de gran interés, analizar la influencia de la frecuencia sobre el funcionamiento de las líneas. Si comparamos dos líneas en bandera (esto es, con los tres cables alineados verticalmente) como las representadas en la figura 4 y la figura 5, se observa que al aumentar la frecuencia de 50 Hz a 60 Hz, aumenta la resistencia (un 1.95%). Esto se produce como consecuencia del efecto pelicular.

Si realizamos los cálculos como en el caso anterior, se puede evaluar el factor $(1 + y_s)$ en

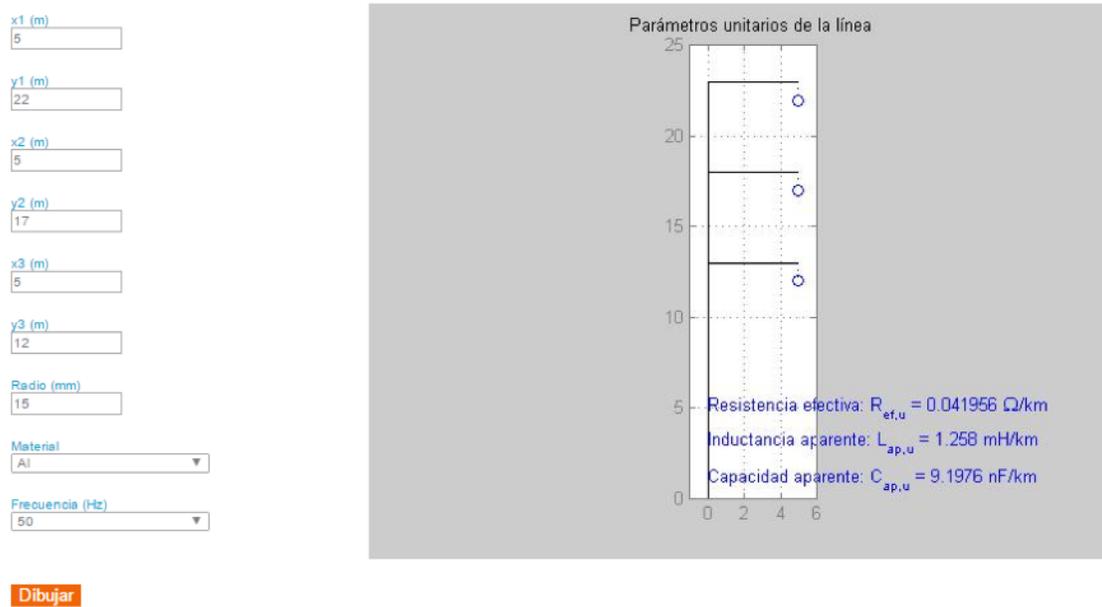


Figura 4: Parámetros de una línea con disposición de los cables en bandera, 15 mm de radio y a una frecuencia de 50 Hz.

ambos casos y comparar el resultado con lo que le pasaría a una onda transitoria de un noveno armónico de 50 Hz (a 450 Hz). Estos resultados se muestran en la tabla 3.

Frecuencia (Hz)	Factor $(1 + y_s)$
50	1.049421
60	1.069950
450	1.961608

Tabla 3: Factor $(1 + y_s)$ con diferentes frecuencias.

Tal como puede comprobarse en la tabla 3, el aumento de frecuencia produce un aumento de la resistencia efectiva que para altas frecuencias (fenómenos transitorios) es un 86.90 % superior. Por otro lado, si bien la inductancia y la capacidad unitarias no se ven afectadas directamente, el modelo de la línea contendrá las impedancias de ambos parámetros, esto es, la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva. Así pues, en virtud de las ecuaciones 14 y 15, las variaciones de frecuencia tienen un efecto proporcional en estas reactancias.

$$X_L(\Omega/km) = \omega \cdot L'_{ap} = 2\pi f L'_{ap} \tag{14}$$

$$X_C(\Omega/km) = \frac{1}{\omega C_{ap}} = \frac{1}{2\pi f C_{ap}} \tag{15}$$

Así, utilizando expresiones comunes en el ámbito de la electricidad y, en ocasiones, algunas más específicas de fenómenos concretos, este laboratorio virtual permite realizar análisis de gran interés para comprender el funcionamiento de las líneas de alta tensión.

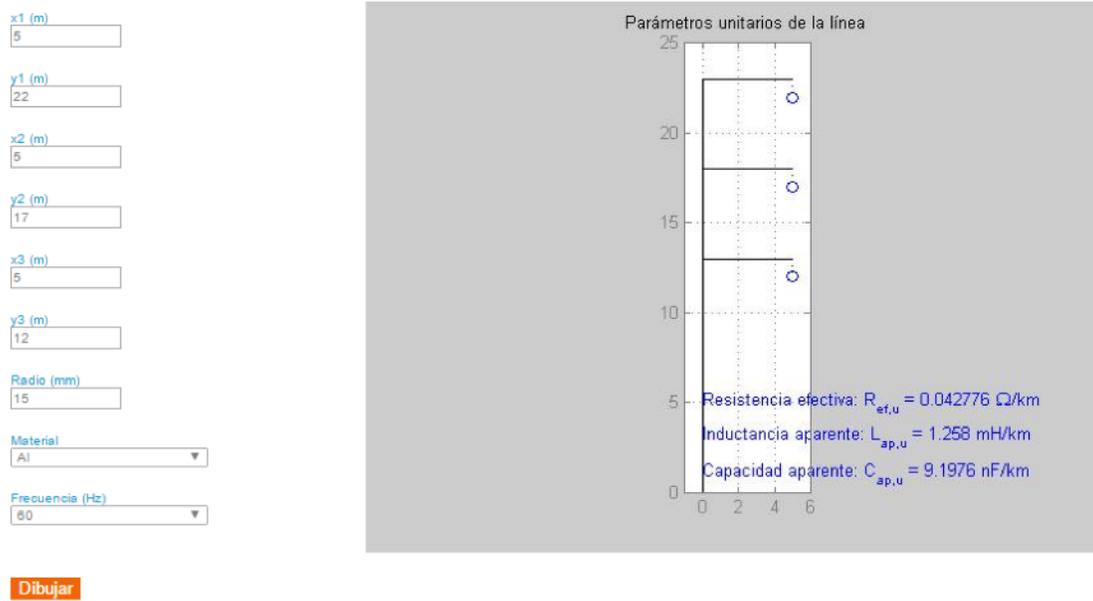


Figura 5: Parámetros de una línea con disposición de los cables en bandera, 15 mm de radio y a una frecuencia de 60 Hz.

4. Resultados

Este laboratorio está implementado en una función de Matlab[®] y publicado en un servidor de la Universitat Politècnica de València de manera que está accesible desde cualquier conexión a Internet (<http://labmatlab.upv.es/eslabon/paramlat/>). Además, corresponde a la estructura de un objeto de aprendizaje, puesto que no está orientado exclusivamente a los estudiantes de Líneas y redes de alta tensión, sino a cualquier estudiante de áreas relacionadas con la ingeniería eléctrica que requiera alcanzar los objetivos planteados. Los resultados de aprendizaje propuestos pueden ser alcanzados mediante su uso y el razonamiento. Para su uso en asignaturas, es conveniente proveer al alumno previamente, de datos reales de catálogos y de los conceptos teóricos y fórmulas que complementan lo aquí expuesto. Los estudiantes podrán desarrollar experiencias y análisis, reflexionando sobre los distintos fenómenos que pueden tener lugar en líneas de alta tensión. De esta manera, el laboratorio facilitará el aprendizaje de los conceptos relacionados con los parámetros de las líneas y la comprensión de los mismos. Al usarse en las asignaturas del departamento, se realizará una pequeña encuesta al alumnado para valorar el impacto de esta herramienta en el aprendizaje de los conceptos involucrados.

5. Conclusiones

Se ha desarrollado un laboratorio virtual basado en Matlab[®] y accesible desde Internet para facilitar a estudiantes de asignaturas relacionadas con la electricidad la comprensión de los parámetros que dan lugar a los modelos de funcionamiento de líneas eléctricas aéreas. Mediante su uso se pueden llevar a cabo experiencias rápidas y sencillas de simulación de parámetros para evaluar la influencia de las características de la línea sobre cada uno de ellos. Por lo tanto, el laboratorio está orientado a la asimilación de todos estos contenidos mediante práctica y reflexión. Este laboratorio forma parte de una colección mayor cuya finalidad es facilitar el estudio de las líneas y su funcionamiento de manera interactiva, visual y cómoda,

alcanzando fácilmente los resultados de aprendizaje de asignaturas relacionadas con las líneas eléctricas de alta tensión.

Gracias al laboratorio descrito en este artículo los alumnos podrán analizar cómo afecta cada característica de una línea aérea trifásica a sus parámetros unitarios. Además, utilizando algunas fórmulas comunes en el área de la ingeniería eléctrica, los estudiantes podrán comparar el funcionamiento de distintas líneas o los efectos de distintos fenómenos eléctricos en ellas, como el efecto pelicular.

El uso de estos laboratorios contribuye a que el alumno trabaje la competencia transversal ‘CT-11 Aprendizaje Permanente’ al tiempo que sirve como herramienta en el desarrollo de la ‘CT-05 Diseño y Proyecto’.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Ciencias de la Educación de la Universitat Politècnica de València, la celeridad en la difusión de los laboratorios virtuales para su acceso libre desde la red.

Referencias

- 

Álvarez B., González C., García, N. (2007).
La motivación y los métodos de evaluación como variables fundamentales para estimular el aprendizaje autónomo.
Red U. Revista de Docencia Universitaria, Número 2. pp 1-12.
- 

Barragan D. (2015).
La web de MATLAB, SIMULINK, VHDL, microcontroladores.
<http://www.matpic.com>.
- 

Depcik C., Assanis D.N. (2005).
Graphical user interfaces in an engineering educational environment.
Comput. Appl. Eng. Educ. 13, 48?59. doi:10.1002/cae.20029.
- 

Ferro Soto C.A., Martínez Senra A.I., Otero Neira M. del C. (2009).
Ventajas del uso de las TICs en el proceso de enseñanza-aprendizaje desde la óptica de los docentes universitarios españoles.
EduTec Rev. electrónica Technol. Educ.
- 

Giménez-Palomares F., Monsoriu J. (2016).
Curvas en el espacio: un laboratorio virtual
Curves in the space: a virtual laboratory.
Model. Sci. Educ. Learn. 9, 87–96.
- 

Marzano R. J. (1991).
Creating an educational paradigm centred on learning through teacher-directed, naturalistic inquiry. En L. Idol y B. F. Jones (Eds.).
Educational values and cognitive instruction. Implication for reform (411-442).
Hillsdale: Erlbaum.



MATHWORKS (2015).
MATLAB[®]. Creating Graphical User Interfaces.
The MathWorks, Inc.



Roldán-Blay C. (2016b).
Parámetros unitarios de líneas de alta tensión de doble circuito para grandes potencias.
<http://labmatlab.upv.es/eslabon/pardoblat/>



Roldán-Blay C. (2016c).
Fasores en una línea de alta tensión modelada en pi.
<http://labmatlab.upv.es/eslabon/pilat/>



Roldán-Blay C.(2016a).
Parámetros unitarios de líneas de alta tensión.
<http://labmatlab.upv.es/eslabon/paramlat/>



UPV (2015a).
Plan estratégico UPV 2015-2020.
<http://www.upv.es/contenidos/PLAN2020/> (accessed 5.29.16)



UPV (2015b).
Plan de Docencia en Red.
<http://www.upv.es/contenidos/DOCENRED/infoweb/docenred/info/U0702929.pdf>
(accessed 6.1.16)