

## DILATE, UNA HERRAMIENTA DE CÓMPUTO PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS AÉREAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

### DILATE, A COMPUTER TOOL FOR DESIGN OF POWER OVERHEAD TRANSMISSION LINES

César A. Becerra C.<sup>1</sup> Carlos A. Lozano M.<sup>1</sup> Diego F. García G.<sup>1</sup>

Recibido 25 de septiembre de 2006, aceptado 3 de julio de 2007

*Received: September 25, 2006 Accepted: July 3, 2007*

#### RESUMEN

En este artículo se presenta una herramienta computacional de carácter académico y de libre distribución llamada DILATE, desarrollada en Microsoft® Excel empleando Visual Basic® para Aplicaciones (VBA), a través de la cual se facilita el diseño de líneas aéreas trifásicas de transmisión de energía eléctrica. DILATE integra tres módulos principales: cálculo eléctrico, cálculo mecánico y proceso de plantillado; este último se realiza directamente sobre la representación gráfica del perfil longitudinal del terreno, el cual es importado desde un archivo con extensión DXF. El resultado es una herramienta computacional que se encarga ágilmente de todos los procesos de cálculo y actualización de resultados, disminuyendo de esta manera el tiempo de diseño y los posibles errores que podrían cometerse en un procedimiento manual. La labor del diseñador se centra en la entrada de datos y el análisis de resultados a través de su amigable interfaz de usuario.

Palabras clave: Excel VBA, macros, DILATE, herramienta computacional, diseño de líneas aéreas de transmisión.

#### ABSTRACT

*In this article, a free distribution computational tool for academic use called DILATE is presented. The tool was developed using Microsoft® Excel using Visual Basic® for Applications (VBA), which facilitates the design of three-phase overhead transmission lines. DILATE integrates three principal calculation modules: electrical calculation, mechanical calculation, and tower spotting and transmission line alignment: the latter is done directly on the graphical representation of the longitudinal profile of the land, imported from a DXF file. The result is a computational tool that helps with all the processes of calculation and updating of results, reducing the time spent in the design and the possible errors that could arise from a manual procedure. The designer's work is focused on the data input and the results analysis through its user friendly interface.*

*Keywords: Excel VBA, macros, DILATE, computational tool, design of overhead transmission lines.*

#### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de herramientas computacionales como apoyo en la solución de diversos problemas de Ingeniería es cada vez más frecuente, especialmente en el campo de Ingeniería Eléctrica. Para el diseño de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica existen herramientas comerciales muy elaboradas y poderosas que, debido principalmente a la considerable inversión de dinero que se requiere, son de difícil acceso a estudiantes e investigadores. A continuación se mencionan algunas de ellas:

- PLS-CAD de Power Line Systems (<http://www.powline.com>) una herramienta ampliamente difundida en el mercado. Su edición estándar incluye excelentes funciones prácticas para el trabajo sobre el terreno, evaluación de flecha-tensión, cargas, distancias de seguridad y dibujos para el diseño de una línea de transmisión completa (2D y 3D). Su precio es de US\$ 9.500 y se incrementa con la adición de módulos funcionales. La edición simplificada permite cálculos de flechas y tensiones en un solo vano, régimen térmico y árbol de cargas para una sola estructura. Su precio es de US\$ 2.000.

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Alta Tensión GRALTA. Universidad del Valle. Cra 13 N° 100 – 00. Cali, Colombia. E-mail: cesbecer@gmail.com, clozano@univalle.edu.co, difegarc@univalle.edu.co

- DLT-CAD de ABS Ingenieros SAC ([www.absingenieros.com](http://www.absingenieros.com)) toma como base el perfil topográfico (2D) y proporciona las herramientas necesarias a través de un entorno gráfico interactivo para trabajar sobre éste. El precio de las ediciones estándar y simplificada es de US\$ 2.400 y US\$ 1.200, respectivamente.

Existen otros desarrollos comerciales y académicos que satisfacen el propósito del diseño de líneas pero que no abarcan en conjunto procedimientos de cálculo eléctrico, mecánico y de plantillado, centrándose generalmente en estos dos últimos. Existen también otros requerimientos que son particulares a cada región y que por esta misma razón es difícil tenerlos en cuenta, por ejemplo, la normatividad vigente aplicable en cada país respecto de las distancias de seguridad.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, así como el considerable ahorro de tiempo de diseño comparado con un procedimiento manual, se desarrolló en la Universidad del Valle una herramienta computacional de libre distribución llamada DILATE (Diseño de Líneas Aéreas de Transmisión de Energía Eléctrica) [1], empleando Microsoft® Excel y el lenguaje de macros VBA, con el propósito principal de apoyar las labores académicas del área de Sistemas de Potencia de la Universidad del Valle, y cuyos fundamentos teóricos están acordes con el contenido del curso de Líneas y Redes que allí se dicta [2].

### CARACTERÍSTICAS DE LA HERRAMIENTA DE CÓMPUTO DILATE

DILATE permite realizar, a través de diferentes interfaces de interacción con el usuario, el diseño electromecánico de una línea, ofreciendo adicionalmente algunas características particulares como: la generación de informes HTML de resultados, guardar/cargar datos de entrada de proyectos, adicionar/modificar datos de cables, importar/exportar datos del plantillado en archivos DXF (*Drawing Exchange Format*) usados en herramientas CAD (*Computer Aided Drafting*), entre otras.

El diseño a través de DILATE se realiza en un orden específico como se muestra en la figura 1. Primero la etapa del diseño eléctrico y posteriormente la del mecánico que incluye el proceso de plantillado. En general en cada etapa el usuario buscará satisfacer los requerimientos particulares de su diseño, a partir de la introducción de datos y el análisis de los resultados que DILATE presenta; de esta manera el usuario puede decidir de acuerdo a su criterio y/o experiencia si se satisfacen

los requerimientos de su diseño, o si requiere realizar al menos una o más modificaciones en los datos de entrada hasta lograrlo (DILATE actualiza los resultados a medida que se realizan los cambios).

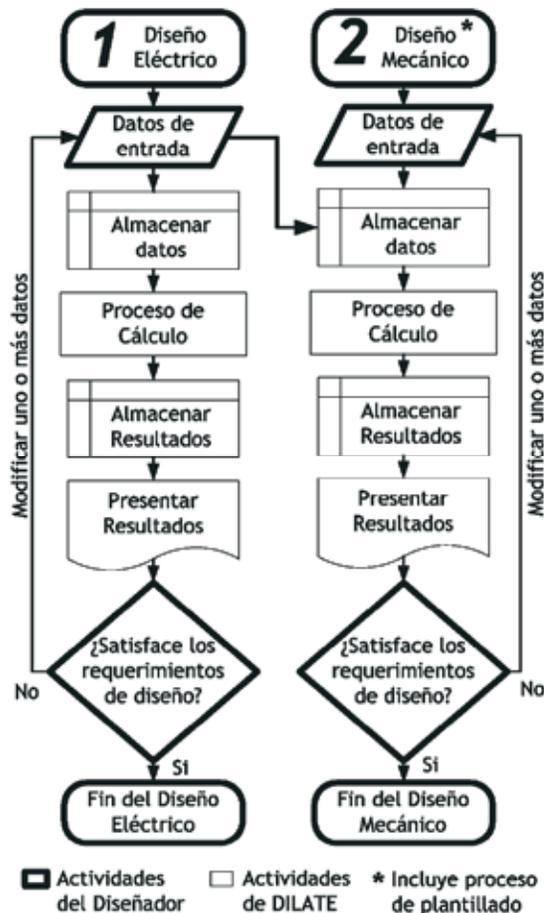


Figura 1. Diagrama general del proceso de diseño de líneas usando DILATE.

DILATE es un proyecto VBA desarrollado en Microsoft® Excel con una estrategia fundamental: se ha dividido en varios módulos que contienen a su vez grupos de procedimientos o macros que trabajan “en equipo” de manera ordenada y sistemática en diversas actividades en las cuales se unen esfuerzos para realizarlas más rápido y mejor.

La interacción con DILATE se realiza a través de una interfaz gráfica de usuario que incluye, además de una barra de menús propia, formularios o ventanas por medio de las cuales se establecen los datos de entrada y se presentan resultados. En la figura 2 se muestra la ventana principal de DILATE y, en la figura 3 los diferentes menús y comandos.



Figura 2. Ventana principal de DILATE.

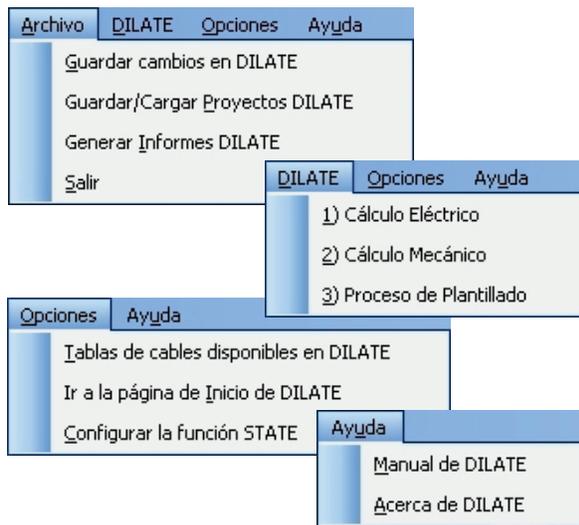


Figura 3. Menús y comandos de DILATE.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO DE LÍNEAS A TRAVÉS DE DILATE

A continuación se presenta una descripción de los cálculos y procedimientos implementados en DILATE mediante los cuales se facilita el diseño electromecánico de una línea aérea de transmisión de energía eléctrica (LATE).

### Diseño Eléctrico

El diseño eléctrico a través de DILATE permite definir las características eléctricas de la línea de tal forma que se pueda transportar hasta el extremo receptor una potencia en MVA con un factor de potencia dado, conservando la tensión en su valor nominal, y conservando los valores de eficiencia en la transmisión y regulación de tensión dentro de valores admisibles.

En DILATE la tensión, la potencia y el factor de potencia se asocian a una carga conectada en el extremo receptor de la LATE, y los valores de eficiencia en la transmisión y la regulación de tensión se establecen generalmente como parte de los requerimientos de diseño; como la tensión en el extremo receptor de la línea se mantiene fijo, es la tensión del extremo transmisor la que se ajusta de acuerdo con la naturaleza de la carga y los parámetros eléctricos de la línea.

La relación entre los parámetros eléctricos de la línea (impedancia serie y admitancia paralelo) con las tensiones y corrientes del extremo transmisor y receptor está determinada por las ecuaciones 1 y 2, que se obtienen a partir de la representación de la LATE mediante un modelo circuital equivalente por fase, que se resuelve como una red de dos pares de terminales caracterizada por los parámetros de transmisión A, B, C y D (ver figura 4).

$$V_S = A \cdot V_R + B \cdot I_R \quad (1)$$

$$I_S = C \cdot V_R + D \cdot I_R \quad (2)$$

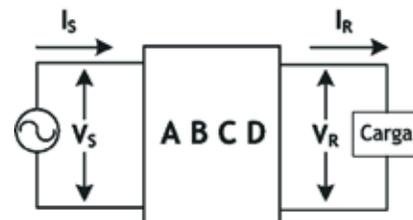


Figura 4. Línea representada como una red de dos pares de terminales.

De acuerdo con la longitud de la línea [3], DILATE puede seleccionar el modelo circuital más apropiado: un modelo de línea corta en el que se desprecia la admitancia paralelo de la línea, un modelo de línea media llamado  $\Pi$  en el que se supone la mitad de la admitancia paralelo de la línea concentrada en cada extremo de la línea, y un modelo de línea larga equivalente en  $\Pi$  que proviene de considerar los parámetros eléctricos distribuidos uniformemente a lo largo de toda la línea. El modelo equivalente en  $\Pi$  puede representar una LATE de cualquier longitud. Sin embargo, DILATE ofrece al usuario la libertad de emplear cualquier modelo cuando así lo desee. Los parámetros de transmisión ABCD se calculan de acuerdo con las ecuaciones indicadas en la tabla 1. En la figura 5 se presenta la ventana principal del módulo de cálculo eléctrico de DILATE.

El cálculo de los parámetros eléctricos propios de la línea parte de la definición de las siguientes variables: longitud de la línea, frecuencia de operación (50 ó 60 Hz), número de circuitos (1 ó 2 en paralelo) y separación entre fases, tipo y número de conductores agrupados por fase (hasta 12 ubicados en los vértices de un polígono regular) y separación entre éstos. Para la selección del conductor DILATE cuenta con una base de datos de 459 conductores agrupados en 5 familias según su tipo [4]: AAC, AAAC, ACAR, ACSR/AW, y ACSR/GA; a partir de esta selección DILATE obtiene las siguientes propiedades: diámetro del conductor, resistencia DC a 20 °C y radio medio geométrico.

La resistencia AC de la línea, R, se calcula a partir del valor de la resistencia DC del conductor seleccionado, involucrando el efecto de la temperatura de operación y de la frecuencia, conocido como efecto skin. Por defecto el valor de la conductancia a tierra, G, se desprecia, aunque el usuario puede definir un valor diferente de 0 nS/km.

Para el cálculo de la reactancia de la línea,  $X = 2 \pi f L$ , se emplea el valor de la inductancia promedio por fase, L, y para el de la susceptancia,  $B = 2 \pi f C$ , se emplea el valor de la capacitancia a tierra, C. En el cálculo de L y C, DILATE supone transposición de las fases, considera la disposición geométrica de éstas, el número de circuitos

en paralelo y el número de conductores agrupados por fase así como la separación entre éstos.

Tabla 1. Cálculo de los parámetros de transmisión ABCD de acuerdo a la longitud de la línea.

Modelo de línea	A = D	B	C
Corta	1	Z	0
Media	$1 + \frac{Z \cdot Y}{2}$	Z	$Y \left( 1 + \frac{Z \cdot Y}{4} \right)$
Larga	$1 + \frac{Z' \cdot Y'}{2}$	Z'	$Y' \left( 1 + \frac{Z' \cdot Y'}{4} \right)$

$$Z = R + jX \Omega \text{ por fase,}$$

$$Y = G + jB S \text{ por fase,}$$

$$Z' = Zc \cdot \text{Senh}(\gamma \cdot L) \Omega \text{ por fase,}$$

$$Y' = \frac{2}{Zc} \cdot \text{Tanh}\left(\frac{\gamma \cdot L}{2}\right) S \text{ por fase}$$

Zc: Impedancia característica de la línea  $\Omega$ ,  
 $\gamma$ : Coeficiente de propagación  $\text{km}^{-1}$ .

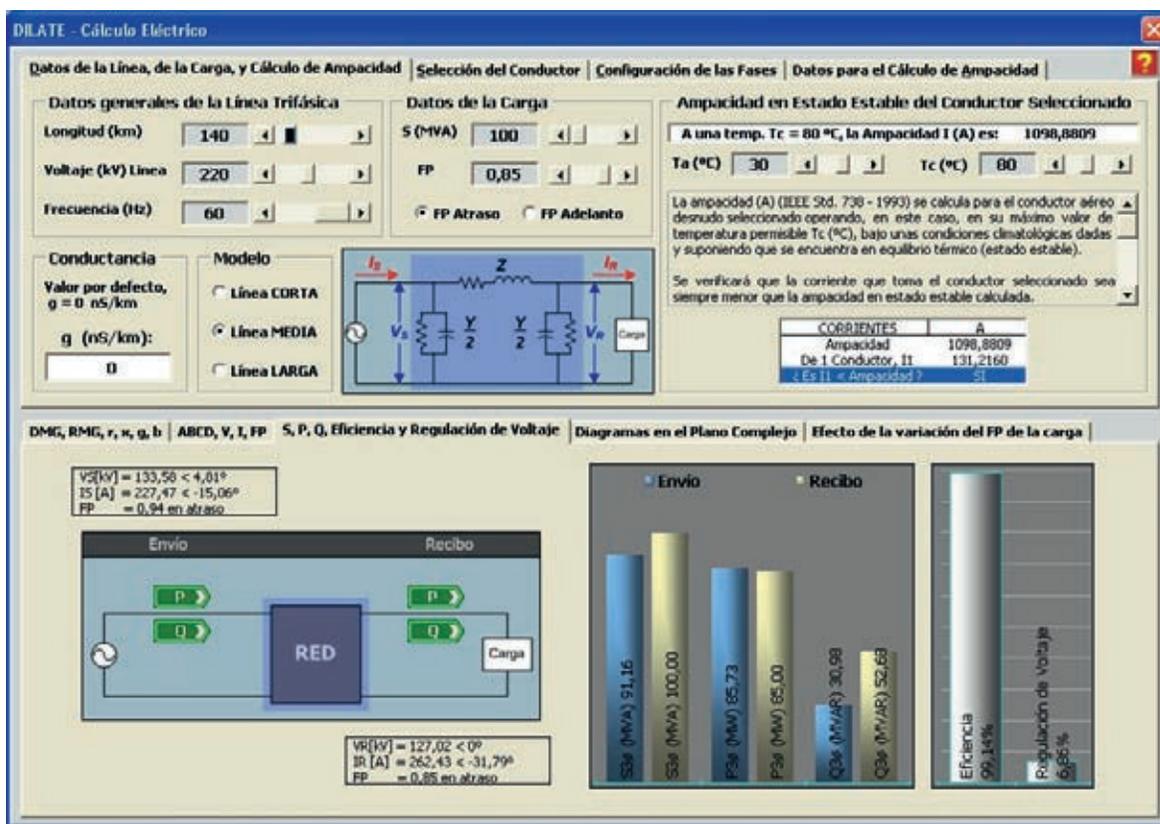


Figura 5. Ventana principal del módulo de cálculo eléctrico.

Adicionalmente, DILATE calcula la máxima capacidad de conducción de corriente del conductor seleccionado, conocida como ampacidad, bajo unas condiciones de estado térmico definidas por las características climatológicas de la zona de ubicación de la línea, siguiendo el procedimiento descrito en la norma IEEE Std. 738 de 1993 [5]. La ampacidad se determina a partir de la ecuación 4 que representa, de manera aproximada, el modelo térmico del conductor y su entorno. Esta ecuación es un balance de calor en estado estable en el que se incluyen las pérdidas de calor del conductor por convección,  $q_c$ , y radiación,  $q_r$ , el calor que gana del sol,  $q_s$ , y el calor producido por efecto Joule  $I^2R$ .

$$q_c + q_r = q_s + I^2 \cdot R(T_c) \quad (4)$$

DILATE calcula la ampacidad en estado estable a la máxima temperatura de operación permisible del conductor eléctrico,  $T_c$ , definida por el usuario según las recomendaciones del fabricante, generalmente entre 60 °C y 80 °C, y verifica que la corriente que transporta un solo conductor de la línea, debida a sus propiedades eléctricas y a la naturaleza de la carga, sea menor a la ampacidad así calculada. De manera conservativa, DILATE toma la corriente que transporta un conductor como la mayor entre la corriente calculada en el extremo

transmisor y la calculada en el extremo receptor de la línea (cada una dividida entre el número de circuitos y el número de conductores por fase, pues se asume que todos son idénticos en la misma línea). Esta verificación permite determinar, de manera indirecta, si el cable operará por debajo de la máxima temperatura permisible en estado estable.

### Diseño Mecánico

El diseño mecánico a través de DILATE permite: estudiar el comportamiento mecánico del conductor eléctrico y del cable de guarda seleccionados (verificar la preservación de la integridad mecánica de cada uno de ellos durante el tiempo de vida útil de la línea), distribuir los apoyos a lo largo del perfil longitudinal del terreno (proceso conocido como plantillado) y calcular las cargas mecánicas transferidas por los cables a cada apoyo (cargas verticales, transversales y longitudinales). En la figura 6 se presenta la ventana principal del módulo de cálculo mecánico.

Para la selección del cable de guarda, DILATE cuenta con una base de datos de 25 cables agrupados en 2 familias según su tipo [6]: SC/GZ y SC/AC. Con la selección del cable de guarda y la del conductor eléctrico se establecen

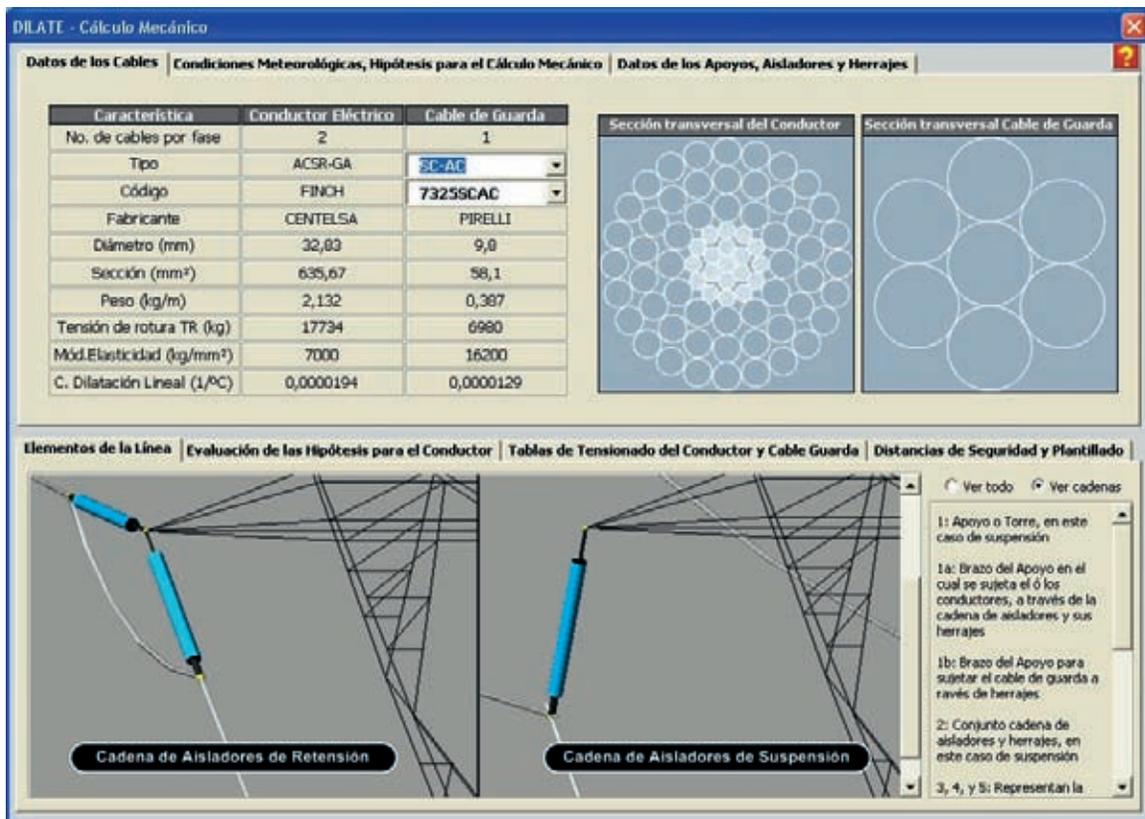


Figura 6. Ventana principal del módulo de cálculo mecánico.

las características físicas y mecánicas para la realización del cálculo de las tensiones. Estas son: diámetro, peso propio, tensión de rotura, módulo de elasticidad, coeficiente de dilatación lineal y área de la sección transversal.

DILATE considera dos variables importantes de origen climatológico que afectan la tensión mecánica de los cables: el viento y la temperatura. Como las características climatológicas bajo las cuales estará sometida una línea no pueden ser determinadas con exactitud, y como no se conoce la longitud de vanos entre cada par de apoyos a ubicar, se evalúan 5 condiciones hipotéticas de operación de la línea que deben satisfacerse simultáneamente para vanos entre 50 m y 1.000 m (en DILATE); estas son:

**1) Condición de trabajo diario:** Corresponde a la condición que se presenta con más frecuencia. La tensión de trabajo diario se estima como un porcentaje de la tensión de rotura del cable, entre el 18% y 22%, de acuerdo con la resolución CREG 025 de 1995 [7].

**2) Condición de fluencia:** Evalúa si el cable podrá trabajar útilmente durante un tiempo esperado de 20 años sin que se produzcan alargamientos considerables o sin que se alcance su punto de deformación plástica (fluencia). En esta evaluación no se considera el efecto del viento, se simula una disminución de la temperatura, lo cual ocasiona un incremento en la tensión mecánica del cable, y se verifica que la tensión final sea menor al 33% de su tensión de rotura [7].

**3) Condición de flecha mínima:** Simula el efecto de someter el cable a una temperatura igual a la mínima promedio de la zona de ubicación de la línea, sin considerar el efecto del viento, y se verifica que la tensión final del cable sea menor al 33% de su tensión de rotura [7].

**4) Condición de carga máxima:** Considera el efecto de someter el cable a una temperatura similar al promedio de las mínimas temperaturas anuales y velocidad del viento máxima, y se verifica que la tensión alcanzada por el cable sea menor al 50% de su tensión de rotura [7].

**5) Condición de flecha máxima:** Asume la temperatura del cable igual a la máxima de operación permisible y sin efecto del viento. Esta condición no tiene límites de tensión mecánica.

La evaluación del comportamiento mecánico de los cables en función de sus características físicas y mecánicas, considerando el efecto simultáneo de la temperatura y posibles sobrecargas debidas a la acción del viento, se

realiza mediante la ecuación 5 conocida como ecuación de cambio de estado [8].

El subíndice 1 indica unas condiciones iniciales conocidas de peso, temperatura y tensión; el subíndice 2 indica las condiciones finales conocidas de peso y temperatura. La única variable desconocida es la tensión final,  $T_2$ , que es el objeto de evaluación mediante esta ecuación.

$$T_2^3 + c_1 \cdot T_2^2 - c_2 = 0$$

$$c_1 = S \cdot E \cdot \frac{a^2}{24} \left( \frac{p_1}{T_1} \right)^2 - T_1 + \alpha \cdot S \cdot E \cdot (t_2 - t_1) \quad (5)$$

$$c_2 = S \cdot E \cdot \frac{a^2}{24} (p_2)^2$$

donde:

- $\alpha$  Coeficiente de dilatación lineal (1/°C).
- $E$  Módulo de elasticidad (kg/mm<sup>2</sup>).
- $S$  Sección total del cable (mm<sup>2</sup>).
- $p$  Peso del cable (kg/m).
- $t$  Temperatura (°C).
- $T$  Tensión del cable (kg).
- $a$  Longitud horizontal del vano (m).

Una vez evaluadas las diferentes hipótesis de cálculo mecánico para distintas longitudes de vanos, DILATE permite la selección de uno llamado “vano regulador” con el cual se calculan, para diferentes posibilidades de temperatura, las tensiones que deben aplicarse a los cables en el momento de su tendido. El vano regulador es un vano ficticio equivalente a múltiples vanos reales existentes entre 2 apoyos de retención; la tensión mecánica y la forma que adopten los cables una vez definida la ubicación de los apoyos será similar a la del vano regulador.

Como paso previo a la realización del plantillado, se deben definir las principales características de la cadena de aisladores (longitud y número de aisladores que la componen) en función del nivel de aislamiento de la zona de ubicación de la línea; el peso de cada aislador, y el peso de los herrajes de sujeción. También se define, para los apoyos tipo suspensión y retención, una altura nominal de pie de apoyo que podrá variarse en DILATE durante el proceso de plantillado, es decir, es posible alargar o acortar cada apoyo a ubicar.

El proceso de ubicación de apoyos o plantillado se realiza directamente en DILATE; para esto, DILATE importa el plano del perfil longitudinal del terreno desde un archivo con formato DXF; el perfil debe estar representado mediante segmentos de línea recta, a escala real (1:1), con todas las distancias definidas en metros. Con esta información, DILATE pone a disposición del usuario las herramientas necesarias para definir sobre el perfil del terreno los apoyos y obstáculos como carreteras, ríos, vías férreas, pantanos, oleoductos, etc. El proceso de plantillado se realiza de acuerdo al criterio y/o experiencia de cada usuario mediante una plantilla dinámica que contiene las siguientes catenarias: catenaria de flecha máxima, catenaria de distancia de seguridad y catenaria de pie de apoyo. En la figura 7 se presenta la ventana del módulo para la realización del proceso de plantillado. DILATE también permite exportar el plantillado a un archivo DXF que contiene, además del perfil, los apoyos, las catenarias y los obstáculos ubicados. Una vez realizado el plantillado, o a medida que se construye, DILATE calcula las cargas mecánicas transferidas a cada apoyo de acuerdo con la figura 8.

Las variables involucradas en el cálculo de las cargas mecánicas transferidas a los apoyos y las ecuaciones correspondientes se presentan a continuación:

- n** Número de cables por fase.
- $p_a$**  Peso aparente de cada cable (kg/m).
- $L_p$**  Vano peso del apoyo en cuestión (m).
- Q** Peso en kg de un conjunto cadena de aisladores y herrajes cuando se calcula la carga vertical transferida por el(los) conductor(es); en el caso del cable de guarda corresponde únicamente al peso de los herrajes.
- $n_Q$**  Número de cadenas de aisladores por fase.
- CM** Carga de montaje (kg).
- $\alpha$**  Ángulo de deflexión ( $^\circ$ ).
- $p_v$**  Peso del viento sobre el cable (kg/m).
- $a_{d,i}$**  Longitud de vano horizontal en m, al lado derecho e izquierdo del apoyo.
- $F_{vd,i}$**  Fuerza actuante del viento sobre los cables al lado derecho e izquierdo del apoyo.
- $T_{d,i}$**  Tensiones en kg al lado derecho e izquierdo del apoyo.

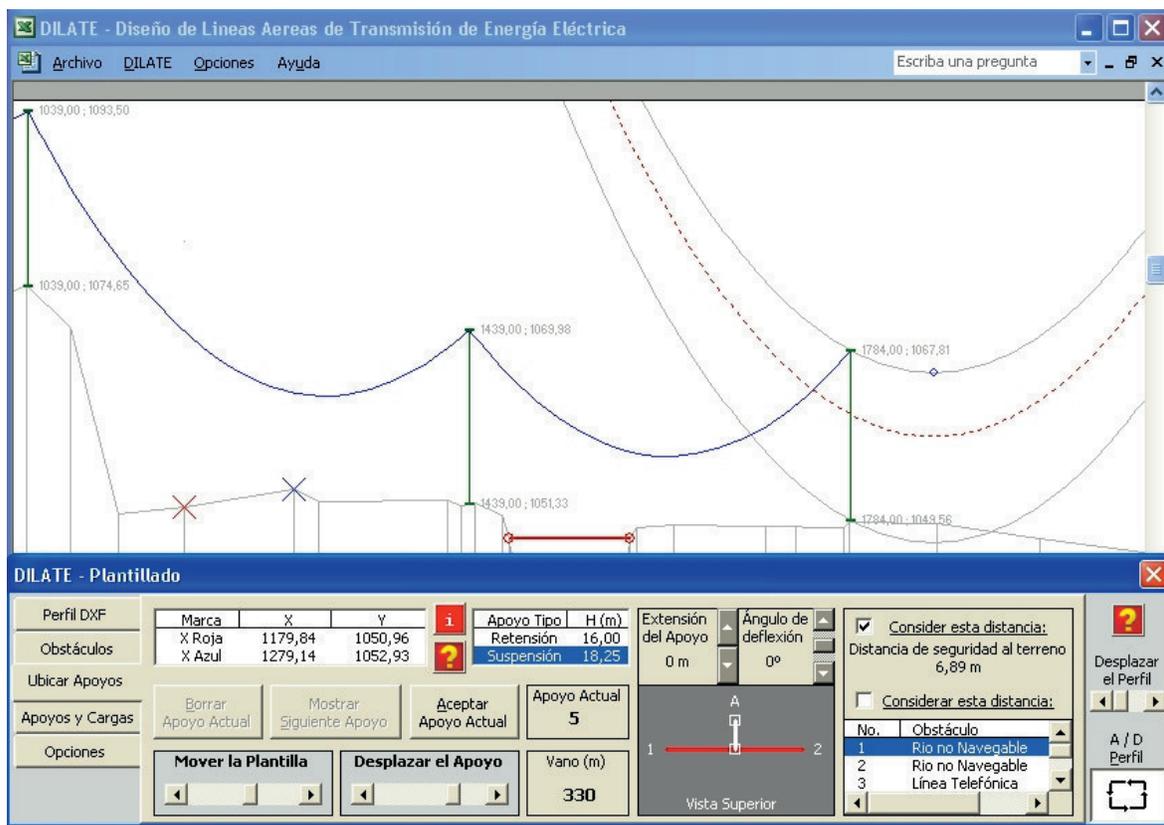


Figura 7. Ventana del módulo para la realización del proceso de plantillado.

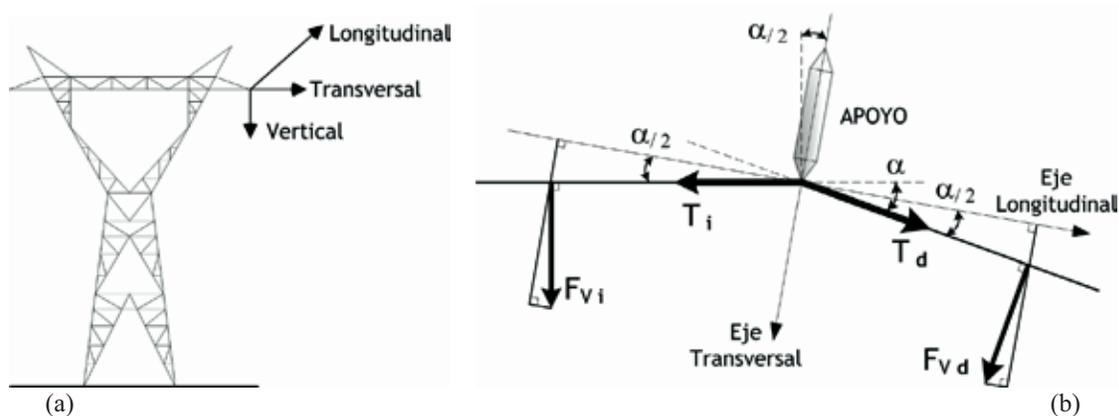


Figura 8. a) Vista frontal del apoyo y dirección de la acción de las cargas, b) vista superior del apoyo y sistema de fuerzas.

**1) Cargas verticales CV (kg):** son debidas a la componente vertical de la tracción que ejercen los cables por su propio peso aparente, al peso de la cadena de aisladores y herrajes y a cargas eventuales debidas al montaje (el peso de una persona que realiza un montaje o mantenimiento). Estas cargas se calculan mediante la ecuación 6.

$$CV = n \cdot p_a \cdot Lp + n_o \cdot Q + CM \quad (6)$$

**2) Cargas transversales CT (kg):** éstas actúan en el sentido del eje transversal del apoyo, y son debidas a la tensión que ejercen los cables a ambos lados del apoyo y a la presión del viento sobre dichos cables, que se supone actúa perpendicularmente al recorrido de la línea. Estas cargas se calculan mediante la ecuación 7.

$$CT = n \cdot \begin{bmatrix} T_d \operatorname{Sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + T_i \operatorname{Sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \\ p_v \frac{a_d}{2} \operatorname{Cos}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + p_v \frac{a_i}{2} \operatorname{Cos}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (7)$$

**3) Cargas longitudinales CL (kg):** éstas actúan en el sentido del eje longitudinal del apoyo, y son debidas a la tensión que ejercen los cables a ambos lados del apoyo y a la presión del viento sobre dichos cables. Estas cargas se calculan mediante la ecuación 8.

$$CL = n \cdot \begin{bmatrix} T_d \operatorname{Cos}\left(\frac{\alpha}{2}\right) - T_i \operatorname{Cos}\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \\ p_v \frac{a_d}{2} \operatorname{Sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + p_v \frac{a_i}{2} \operatorname{Sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (8)$$

### CONSIDERACIONES ADICIONALES

Aunque DILATE incorpora una gran cantidad de aspectos teóricos relacionados con el diseño electromecánico de líneas, existen ciertas limitaciones y temas adicionales por cubrir, a partir de los cuales se pueden plantear trabajos futuros que permitan complementar esta herramienta computacional. Algunos de estos son:

- Permitir almacenar en los archivos \*.dilate, además de los datos de entrada de los módulos de cálculo eléctrico y mecánico, la información del plantillado.
- Para el proceso de plantillado DILATE obtiene parte de la información contenida en el archivo DXF en el que se representa el perfil longitudinal del terreno: la correspondiente a las entidades LINE (línea). Es conveniente incluir otras entidades, principalmente texto y polilíneas, para enriquecer visualmente el perfil y facilitar aún más las actividades de plantillado.
- Mejorar la resolución de desplazamiento de la plantilla de catenarias para mejorar la precisión en la ubicación de apoyos.
- Adicionar módulos que implementen temas como: aspectos económicos, el cálculo eléctrico de líneas sin transposición de fases, el efecto de la tierra sobre la capacitancia de la línea, el efecto corona, la compensación en líneas, cálculo de esfuerzos en las cadenas de aisladores, cálculo de árboles de carga, entre otros.

Acerca de la disponibilidad de la herramienta de cómputo DILATE se recomienda contactar a los autores de este artículo.

## CONCLUSIONES

DILATE permite agilizar los procesos de enseñanza/aprendizaje en el diseño de una LATE, facilitando a los estudiantes la comprensión de los diferentes elementos y parámetros involucrados.

DILATE proporciona un ambiente de diseño homogéneo y generalizado, brinda fortalecimiento en el conocimiento del cálculo y diseño de una LATE, y gracias a su amigable interfaz de usuario se gana en la disminución de posibles errores asociados a los procesos de cálculo. Además, permite disminuir el tiempo de diseño y brinda la posibilidad de analizar rápidamente los resultados al cambiar cualquiera de los datos de entrada.

El proceso de plantillado a través de DILATE proporciona diseños equivalentes o mejores que los métodos manuales, ofreciendo mayor rapidez y comodidad. Además, al permitir la creación de un archivo DXF que incluye el perfil, obstáculos, apoyos, y catenarias, facilita la adición posterior de otros elementos como textos descriptivos, cotas, colores, etc., mediante el uso de herramientas CAD.

## REFERENCIAS

- [1] C.A. Becerra C. “Desarrollo de una herramienta de cómputo para el diseño de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica”. Tesis para optar al título de Ingeniero Electricista. Universidad del Valle. Cali, Colombia. 2005.
- [2] D.F. García G. “Apuntes de clase del curso líneas y redes”. Universidad del Valle. Cali, Colombia. 2006.
- [3] J. Grainger, W. Stevenson Jr. “Análisis de Sistemas de Potencia”. Editorial McGraw-Hill. México. 1996.
- [4] CENTELSA. “Aluminio Desnudo”. Colombia: Catálogo CENTELSA. Fecha de consulta: noviembre 2006. Disponible en: [www.centelsa.com.co](http://www.centelsa.com.co)
- [5] IEEE Standard 738-1993. “IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors”. IEEE. USA. 1993.
- [6] PIRELLI. D. Worden. “Overhead Conductor”. Australia: PIRELLI Technical Manual. Fecha de consulta: noviembre 2006. Disponible en: [www.au.pirelli.com/en\\_AU/cables\\_systems/telecom/downloads/pdf/Overhead.pdf](http://www.au.pirelli.com/en_AU/cables_systems/telecom/downloads/pdf/Overhead.pdf)
- [7] CREG. Comisión de Regulación de Energía y Gas. “Código de Redes”. Colombia: Resolución CREG 025 de 1995. Fecha de consulta: noviembre 2006. Disponible en: <http://domino.creg.gov.co/creg.nsf/normas?OpenFrameSet>
- [8] L.M. Checa. “Líneas de transporte de energía”. Editorial Alfaomega. Bogotá, Colombia. 2000.
- [9] J.A. Velasco Martínez. “Líneas y redes eléctricas”. CPDA-ETSEIB. España. 1995.
- [10] J. Moreno Clemente. “Cálculo de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión”. T. G. Arte. Málaga. 1999.
- [11] R. Jacobson. “Programación con Microsoft® Excel Versión 2002. Macros y Visual Basic® para Aplicaciones”. Editorial McGraw-Hill. Washington. EE.UU. 2004.